

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-фізичний факультет
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

«На правах рукопису»
 УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В. І. Мазур
 «__» _____ 2019 р.

Магістерська дисертація
за освітньо-професійною програмою
Матеріалознавство композитів і покриттів
зі спеціальності 132 Матеріалознавство

на тему: «Отримання зносостійкого покриття на титановому сплаві ВТ6 порошковим методом»

Виконав магістрант II курсу, групи ФК-81мп

Абрамов Костянтин Володимирович

_____ (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. Карасевська О.П.

_____ (підпис)

Консультант доцент, к.т.н., Арламов О. Ю.
 (Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях)

_____ (підпис)

Консультант доцент, к.е.н., Петренко К. В.
 (Економічно-організаційної частини)

_____ (підпис)

Нормоконтроль доцент, к.т.н., Бірюкович Л. О.

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
 немає запозичень з праць інших авторів без
 відповідних посилань.

Магістрант _____

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет	Інженерно-фізичний
Кафедра	Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	132 МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
Освітньо-професійна програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Вибірковий блок	Матеріалознавство композитів і покриттів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В.о. завідувача кафедри

Мазур В. І.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

“ ”

_____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію магістранту

Абрамову Костянтину Володимировичу

1. Тема дисертації: Отримання зносостійкого покриття на титановому сплаві ВТ6 порошковим методом
2. Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент, Карасевська О.П. затверджений наказом по університету від 12.11 2019 року № 3890-с
3. Строк подання дисертації: 17.12.2019
4. Вихідні дані до дисертації: Аналіз сучасного стану виготовлення покриттів на титанових сплавах, та впровадження нових технологій для їх створення. Технологічні процеси повинні забезпечувати певний рівень найважливіших властивостей виробів на основі титану , що залежать від складу

вихідного матеріалу та його структури, що формується у процесі спікання.

Організаційно-економічні засади повинні забезпечувати оцінку науково-технічного ефекту не нижчий за 6. Охорона праці та безпека в надзвичайній ситуації повинні відповідати нормативним вимогам.

5. Зміст пояснювальної записки:

а) провести аналіз сучасного стану теорії і технології отримання покриттів на титанових сплавах з наперед заданими властивостями та високими техніко-економічними показниками їх виготовлення;

б) розробити технологічну схему для створення покриттів порошковим методом;

в) визначити шкідливі та небезпечні виробничі фактори;

г) розробити заходи для попередження впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів;

д) провести розрахунок кількості електроенергії, необхідної для проведення експериментальної частини;

е) обґрунтувати необхідну кількість робітників, розмір фонду їх заробітної плати, визначити показники продуктивності праці;

ж) довести ефективність дисертації та розробити стартап-проект.

6. Перелік графічного матеріалу:

– технологічна схема отримання покриттів на титановому сплаві ВТ6 за порошковою методикою;

– макро- та мікроструктури отриманих покриттів

– макромеханічні характеристики шару покриття на ВТ6.

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний розділ	Петренко К.В., к.т.н., доцент		
Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Арламов О.Ю., к.т.н., доцент		

8. Дата видачі завдання: 20.09.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	20.09.18	
2	Опрацювання тематичної літератури	31.05.19	
3	Виготовлення шліфів зразків	02.09.19	
4	Проведення металографічного аналізу	28.09.19	
5	Дослідження механічних властивостей	10.11.19	
6	Проведення рентгено-фазового аналізу	15.11.19	
7	Опрацювання отриманих результатів	06.12.19	
8	Оформлення пояснювальної записки	10.12.19	
9	Захист магістерської дисертації	17.12.19	

Магістрант

К. В Абрамов

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник дисертації

О. П. Карасевська

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: стр. – 89, рис. – 32, табл. – 31, літ. – 45.

ВТ6, НАНОСТРУКТУРНИЙ МАТЕРІАЛ, НІКЕЛЬ, ПОКРИТТЯ, ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ, ТИТАНОВИЙ СПЛАВ.

У даній роботі викладено огляд сучасного стану теорії і технології отримання зносостійких покриттів на титанових сплавах.

Об'єктом дослідження дисертації є створення зносостійких покриттів на титановому сплаві ВТ6.

Метою є дослідження структури та механічних властивостей покриттів, виконаних методами порошкової металургії.

Методи дослідження:

- металографічний аналіз (оптична мікроскопія);
- растрова електронна мікроскопія;
- рентгенівський фазовий аналіз;
- дослідження механічних властивостей.

Методом порошкової металургії було отримано зносостійке покриття на титановому сплаві ВТ6 використовуючи порошки на основі нікелю: ПРН65Х25С3Р3 та ПРНХ18С5Р5. Було визначено їх твердість яка становить 647МПа та 669МПа відповідно.

Методом ретгенофазного аналізу було встановлено, що переважаючою фазою у покритті є наноструктурна фаза Ti_2Ni .

ABSTRACT

This thesis contains: pages – 91, figures – 32, tables – 31, references – 45.

VT6, NANOSTRUCTURAL MATERIAL, NICKEL, COATINGS, POWDER METALLURGY, TITANIUM ALLOY.

The thesis focuses on overview of the current state of the theory and technology of obtaining wear-resistant coatings on titanium alloys.

The object of the research is the creation of wear-resistant coatings on titanium alloy BT6.

Object of the thesis research structure and mechanical properties of coatings made by powder metallurgy methods.

Methods of research:

- metallographic analysis (optical microscopy);
- scanning electron microscope investigation;
- X-ray phase analysis;
- mechanical properties investigation.

Wear-resistant coating on titanium alloy BT6 was obtained using nickel-based powders. Their hardness was determined to be 647 MPa and 669 MPa.

X-ray phase analysis revealed that the nanostructured Ti_2Ni phase is the predominant phase in the coating.

РЕФЕРАТ

Работа содержит: стр. - 89, рис. - 32, табл. - 31 лит. - 45.

ВТ6, НАНОСТРУКТУРНЫЙ МАТЕРИАЛ, НИКЕЛЬ, ПОКРЫТИЯ, ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ, ТИТАНОВИЙ СПЛАВ.

В данной работе изложены обзор современного состояния теории и технологии получения износостойких покрытий на титановых сплавах.

Объектом исследования диссертации является создание износостойких покрытий на титановом сплаве ВТ6.

Целью является исследование структуры и механических свойств покрытий, выполненных методами порошковой металлургии.

Методы исследования:

- металлографический анализ (оптическая микроскопия)
- растровая электронная микроскопия;
- рентгеновский фазовый анализ;
- исследование механических свойств.

Методом порошковой металлургии было получено износостойкое покрытие на титановом сплаве ВТ6 используя порошки на основе никеля: ПРН65Х25С3Р3 и ПРНХ18С5Р5. Было определено их твердость составляющей 647МПа и 669МПа соответственно.

Методом рентгенофазного анализа было установлено, что преобладающей фазой в покрытии является наноструктурных фаза Ti_2Ni .

ЗМІСТ

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1 Загальні властивості титану та титанових сплавів	12
1.2 Деформаційна модель Ti.....	16
1.3 Фазові діаграми	18
1.3.1 Вплив легуючих елементів на фазові діаграми титанових сплавів	18
1.3.2 Фазова діаграма Ti – Al.....	20
1.3.3 Фазова діаграма Ti – Ni.....	21
1.4 Створення покриттів на титанові сплавах	25
1.4.1 Створення покриттів на основі азоту та вуглецю на VT6	25
1.4.2 Створення покриттів на основі хрому та алюмінію на титанових сплавах	26
1.5 Фізичні властивості MAX фаз	28
1.6 В'язкість руйнування та міцність в ієрархічних наноструктурованих сплавах	33
1.7 Висновки та постановка задач дослідження	37
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
2.1 Вихідні матеріали	39
2.2 Дослідження мікроструктури отриманого покриття.....	39
2.3 Проведення рентгенофазового аналізу	41
2.4 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості	43
2.5 Хімічний аналіз	47
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	49
3.1 Фазовий аналіз і структура поверхневого шару	49

3.2 Мікроструктура матеріалу після спікання	52
3.3 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості отриманого покриття ...	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
4.1 Безпечність технологічного процесу.....	58
4.2 Безпечність обладнання використаного для дослідження	60
4.3 Висновки.....	61
5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	63
6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	66
6.1 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	66
6.1.1 Витрати на оплату праці	66
6.1.2 Єдиний соціальний внесок.....	68
6.2 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі	68
6.3 Витрати на спеціальне обладнання та прилади	69
6.4 Витрати на службові відрядження	69
6.5 Інші прямі невраховані витрати	70
6.6 Накладні витрати.....	70
6.7 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації	71
7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	72
7.1 Науково-технічна актуальність ДР.....	72
7.2 Мета і завдання дипломної роботи.....	72
7.3 Економічна ефективність ДР	73
7.4 Висновки.....	74
8 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	75
8.1 Актуальність	75
8.2 Мета і завдання стартап проекту	75

8.3	Опис ідеї проекту	76
8.3.1	Технологічний аудит ідеї проекту	76
8.4	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	77
8.5	Розроблення ринкової стратегії проекту	81
8.6	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	82
8.7	Формування системи збуту	83
8.8	Висновки до розділу	84
	ВИСНОВКИ	85
	CONCLUSIONS	86
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	87

ВСТУП

Титан має ряд дуже гарних властивостей таких як міцність, легкість, корозійна стійкість, фізіологічна інертність – це дозволяє йому використовуватися у багатьох галузях промисловості від виробництва реакторів до зубних імплантів.

Але при цьому має ряд недоліків які звужують коло його використання зокрема це низька зносостійкість, термічна нестабільність, висока схильність до налипання та високий коефіцієнт тертя з більшістю матеріалів.

Для усунення більшості з цих недоліків у останній час широко використовують покриття які приводять до структурно фазових переходів у поверхневих шарах матеріалу.

Тому темою данної магістерської дисертації є отримання зносостійкого шару на одному з найпоширеніших титанових сплавів ВТ6, використовуючи порошки на основі нікелю ПРН65Х25С3Р3 та ПРНХ18С5Р5.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальні властивості титану та титанових сплавів

Титан є дуже важливим металом у розвитку людства за рахунок своїх унікальних властивостей: він має високі значення питомої міцності, це найбільш біосумісний метал що робить його необхідним при виготовленні медичних імплантатів, ще однією важливою властивістю є його висока стійкість до корозії. Деякі основні властивості титану у порівнянні з Fe, Ni та Al наведені у таблицях 1.1 та 1.2. Завдяки сукупності цих властивостей титан повинен бути ідеальним конструктивним металом для заміни сталі, але є одна важлива проблема, це його ціна. Титан в 20 разів дорожче звичайної сталі, та у 5 разів дорожче ніж нержавіюча сталь [1].

Таблиця 1.1 – Деякі основні властивості титану у порівнянні з Fe, Ni та Al [2]

Властивості	Ti	Fe	Ni	Al
1	2	3	4	5
Температура плавлення (°C)	1670	1538	1455	660
Поліморфне перетворення (°C)	$\beta^{882} \rightarrow \alpha$	$\gamma^{912} \rightarrow \alpha$	-	-
Кристалічна структура	ОЦК→ГЦУ	ГЦК→ОЦК	ГЦК	ГЦК
Модуль Юнга за кімнатної температури (GPa)	115	215	200	72
Густина (г/см ³)	4,5	7,9	8,9	2,7
Відносна корозійна стійкість	Дуже висока	Низька	Середня	Висока

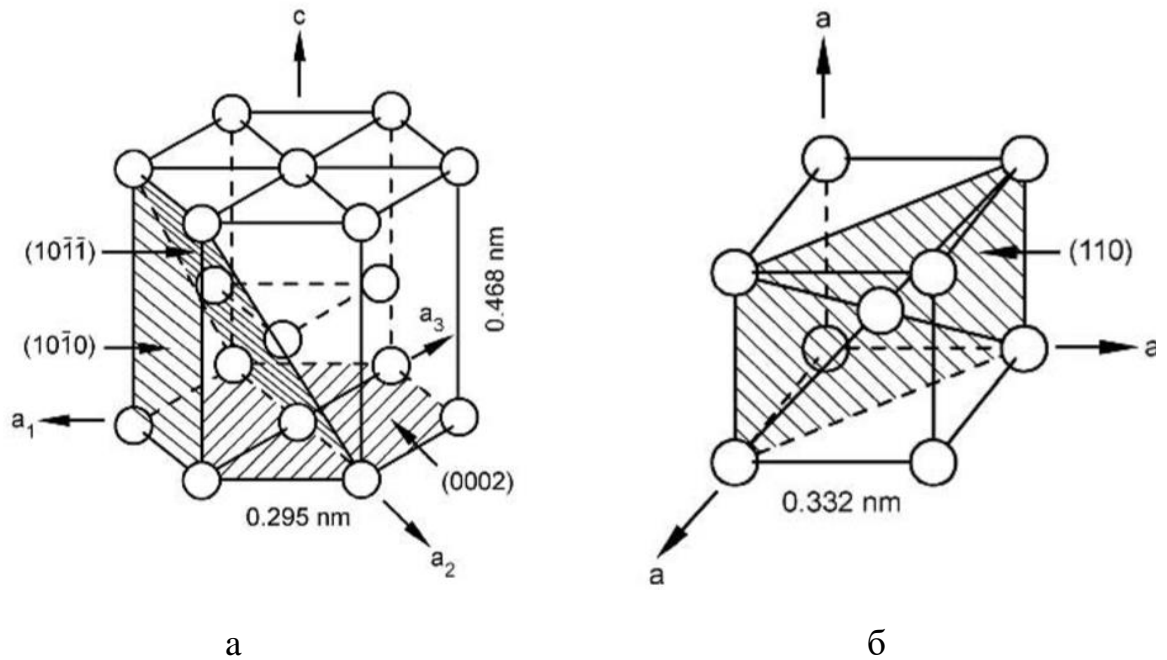
Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Відносна спорідненість з киснем	Дуже висока	Низька	Низька	Висока
Відносна ціна металу	Дуже висока	Низька	Висока	Середня

Поліморфне перетворення у Ti відбувається при температурі $882^{\circ}C$ під час якого кубічна об'ємноцентрована гратка (β – фаза) перетворюється на гексагональну кристалічну структуру (α - фазу). Структуру α та β – фази можна побачити на рисунку 1.1. На точну температуру перетворення впливає чистота металу. Гексагональна комірка має параметри ґратки a (0,295 нм) та c (0,468 нм). Співвідношення c/a для чистого α титану становить 1,587, менше ніж ідеальне співвідношення 1,633 для гексагональної щільно-пакованої кристалічної структури [2].

Таблиця 1.2 – Деякі фізичні властивості титанових сплавів у порівнянні з іншими конструкційними металами.

Матеріал	Коефіцієнт термічного розширення, $10^{-6} K^{-1}$	Термопровідність, $Вт \cdot м^{-1} \cdot K^{-1}$	Теплоємність, $Дж/кг \cdot K$
α Титан	8.4	20	523
Ti-6Al-4V	9.0	7	530
Ti-15-3	8.5	8	500
Fe	11.8	80	450
Ni	13.4	90	440
Al	23.1	237	900



а – кристалічна структура α фази; б – кристалічна структура β фази

Рисунок 1.1 – Кристалічні ґратки α та β фази у чистого Ті [2]

У α фазі три найбільш щільнопаковані площини це площина $\{0002\}$, яка також називається базальною площиною, одна з трьох площин $\{0101\}$, які називаються призматичними площинами, і одна з шести $\{1110\}$ площин, які називаються пірамідальними площинами. Три осі a_1 , a_2 , a_3 є напрямками з близьким пакуванням напрямків з індексами $\langle 0211 \rangle$ [2].

У β фазі є також один варіант з шести щільнопакованих площин $\{110\}$ та значення параметру a у чистому β Ті за температурою 900°C становить 0.332 нм. Найбільш щільнопаковані напрямки це чотири $\langle 111 \rangle$ напрямки.

Висока анізотропія α фази має дуже важливий вплив на пружні властивості чистого титану. Зміна модуля пружності у чистому монокристалі титану за кімнатної температури зображено як функцію кута γ між віссю з одиничної комірки та віссю напруження, на рисунку 1.2 [3].

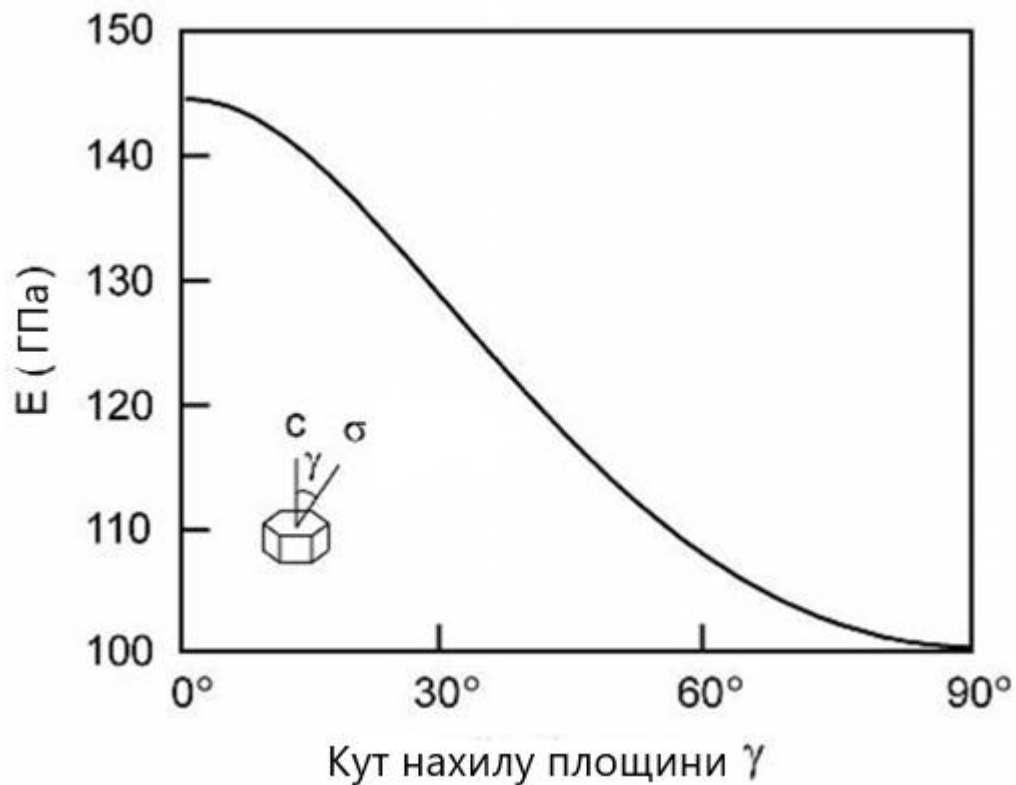


Рисунок 1.2 – Модуль пружності в монокристалі α Ті в залежності від кута γ [3]

З рисунка, наведеного вище, можна відмітити, що модуль пружності змінюється в діапазоні від 145 ГПа до 100 ГПа. Подібні сильні коливання можна побачити під час вимірювання модулю зсуву у напрямку $\langle 0211 \rangle$ та у площинах (0002) або (0110) відповідно, при цьому значення модулю зсуву варіюються від 46 ГПа до 34 ГПа. У полікристалічному α титану зміни пластичних властивостей менш виражені, фактичні зміни модуля залежать від характеру та інтенсивності текстури матеріалу [3].

З підвищенням температури модуль зсуву та модуль пружності змінюються майже лінійно що можна побачити на рисунку 1.3 [4]. Модуль пружності зменшується від 115 ГПа за кімнатної температури до 58 ГПа за температури $\alpha \leftrightarrow \beta$ переходу, для модуля зсуву значення змінюються від 42 ГПа до 20 ГПа. Так як β фаза не є стабільною нижче 882 °С, то не має можливості отримати данні для β фази у чистому титані за кімнатної температури [4].

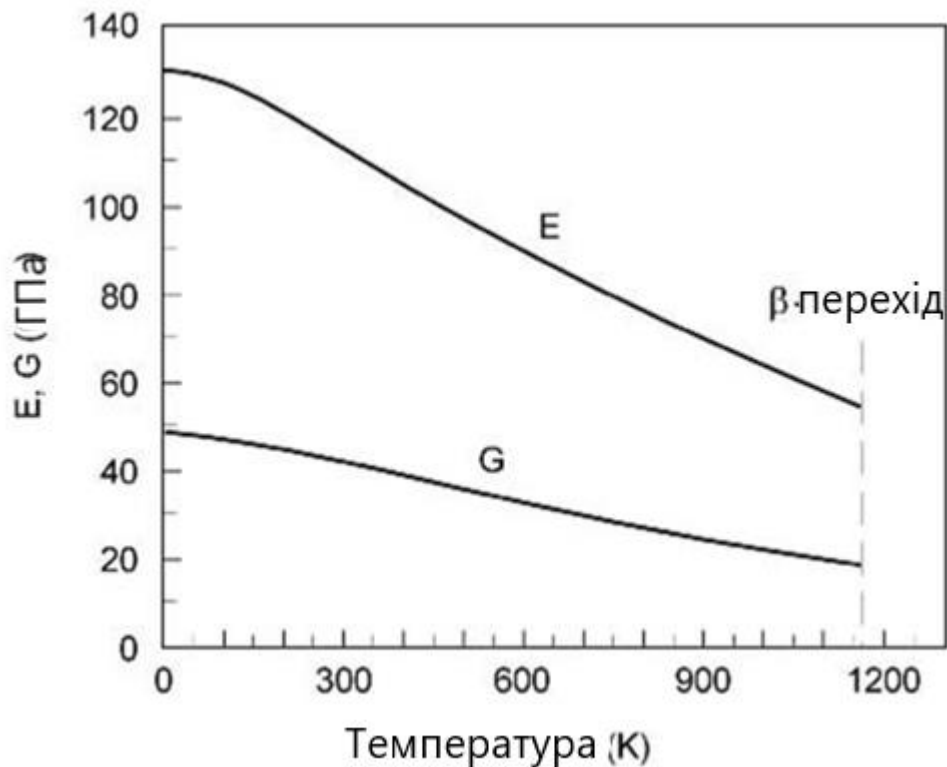


Рисунок 1.3 – Залежність модуля пружності та модуля зсуву від температури у монокристалі α титану [4]

1.2 Деформаційна модель Ті

Під час пластичної деформації α фаза титану демонструє деформаційний механізм двійникування на додаток до ковзання. Деформація за механізмом двійникування робить сплав α титану досить пластичним при низьких температурах за рахунок малих фазових розмірів. У β фазі також присутній механізм двійникування але, як і у α фазі обмежується однофазним станом і зменшується зі збільшенням вмісту розчиненої речовини [2].

На рисунку 1.4 можна побачити всі площини та осі ковзання у гексагональній α фазі. Головні напрямки ковзання це три щільнопаковані напрямки типу $\langle 0211 \rangle$. До площин з цим напрямком Бюргерса належать: площина (0002) , три площини $\{0110\}$ і шість площин $\{1101\}$. Загалом у гексагональній ґратці α фази можна нарахувати 12 площин ковзання але, цю

кількість можна зменшити до 4 незалежних форм ковзання які зазначені у таблиці 1.3 [2].

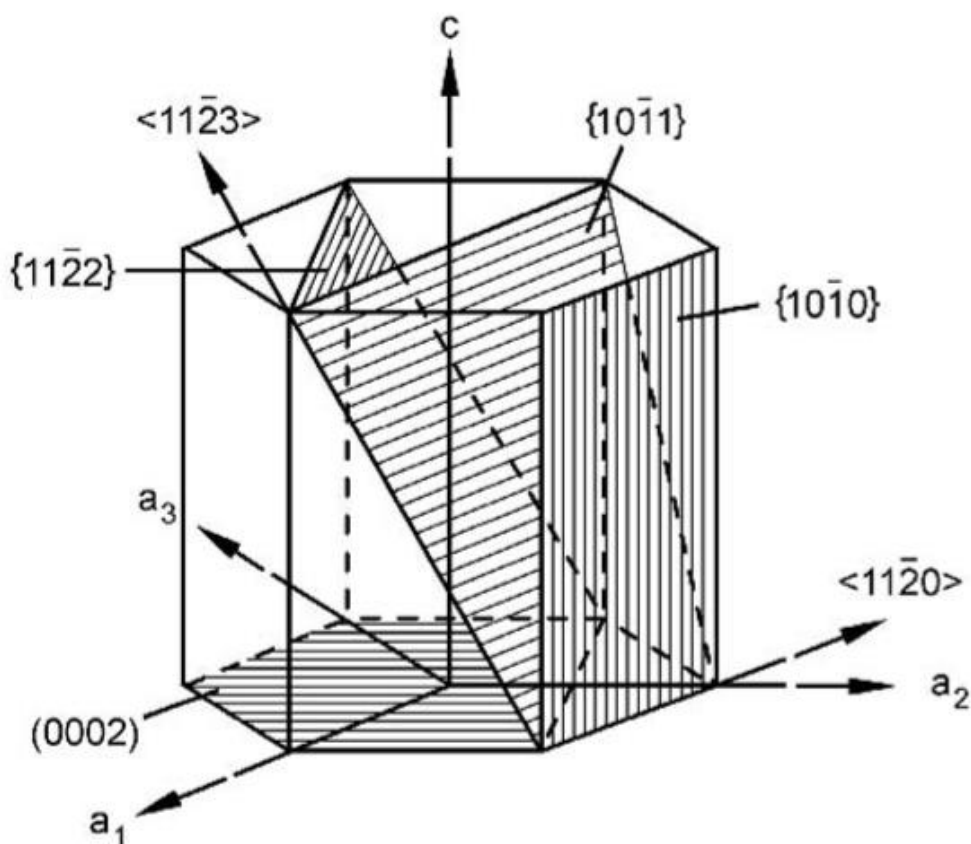


Рисунок 1.4 – Площини та осі ковзання у α фазі [2]

Таблиця 1.3 – Системи ковзання у гексагональній α фазі [5], [6]

Тип системи ковзання	Тип вектору Бюргерса	Напрямок ковзання	Площина ковзання	Кількість систем	
				Всього	Незалежних
1	\vec{a}	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	(0002)	3	2
2	\vec{a}	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$\{10\bar{1}0\}$	3	2
3	\vec{a}	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$\{10\bar{1}1\}$	6	4
4	$\vec{c} + \vec{a}$	$\langle 11\bar{2}3 \rangle$	$\{10\bar{2}2\}$	6	5

У чистому α титані деформація двійникуванням зустрічається у трьох системах: $\{1012\}$, $\{11\bar{2}1\}$ та $\{11\bar{2}2\}$. Кристалографічні елементи цих систем двійникування в α титані зображені у таблиці 1.4 [5]. Двійникування є дуже

важливим для проходження пластичної деформації та в'язкості при низьких температурах, якщо вісь навантаження паралельна осі c та дислокації з базальним вектором Бюргерса не можуть рухатися. При цьому $\{10\bar{1}2\}$ та $\{11\bar{2}1\}$ активуються при виникненні напружень які призводять до розширення вздовж осі c [7].

Таблиця 1.4 – Елементи двійникування в α титані [5]

Площина двійникування (Перша недеформована площина)(K_1)	Напрямок зсуву(η_1)	Друга недеформована площина(K_2)	Напрямок перетину площини зсуву з K_2 (η_2)	Площина зсуву перпендикулярна до K_1 та K_2
$\{10\bar{1}2\}$	$\langle 10\bar{1}\bar{1} \rangle$	$\{\bar{1}012\}$	$\langle 10\bar{1}1 \rangle$	$\{12\bar{1}0\}$
$\{11\bar{2}1\}$	$\langle 10\bar{2}\bar{6} \rangle$	(0002)	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$\{\bar{1}100\}$
$\{11\bar{2}2\}$	$\langle 10\bar{2}\bar{3} \rangle$	$\{11\bar{2}4\}$	$\langle 10\bar{1}\bar{1} \rangle$	$\{\bar{1}100\}$

Підвищення домішок у α титані, таких як кисень та алюміній пригнічує виникнення двійникування. Тому двійникування як режим деформації відіграє важливу роль переважно у чистому титані та титані з низьким вмістом кисню [8].

1.3 Фазові діаграми

1.3.1 Вплив легуючих елементів на фазові діаграми титанових сплавів

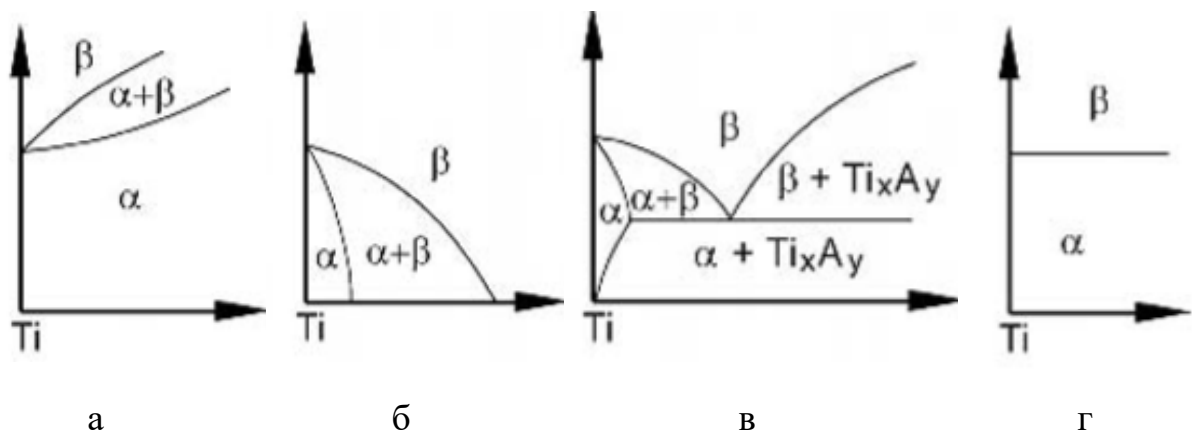
В залежності від впливу легуючих елементів на титан їх поділяють на α та β стабілізуючі, так як вони змінюють температуру $\alpha \leftrightarrow \beta$ перетворення, яке відбувається при температурі 882°C у чистому титані.

До сильних α стабілізаторів належать такі елементи як Al, O, N та C, вони збільшують температуру фазового перетворення, що можна побачити на рисунку 1.5. Найбільш широко застосованим у якості легуючого елементу є

алюміній, так як він підвищує температуру переходу та має високу розчинність в α та β фазах.

Усі β стабілізатори поділяються на β ізоморфні та β евтектоїдні, обидва типи схематично зображені на рисунку 1.5. Найбільш часто використовуються такі β ізоморфні стабілізатори як: V, Mo та Nb. Ці стабілізатори у достатній кількості дозволяють стабілізувати β до кімнатної температури. З β евтектоїдних стабілізаторів найбільш широко використовуються Cr, Fe та Si [2].

Також існує група елементів які майже не змінюють температуру $\alpha \leftrightarrow \beta$ міжфазного переходу: до них належать Zr, Hf, та Sn. Zr та Hf ізоморфні з титаном, і проявляють однакову $\beta \leftrightarrow \alpha$ -алотропну фазову трансформацію. Sn належить до β евтектоїдних елементів, але не має значного впливу на температуру міжфазного перетворення.



а – α стабілізатори (Al, O, N, C); б – ізоморфні β стабілізатори (V, Mo, Nb, Ta);
 в – евтектичні β стабілізатори (Fe, Mn, Cr, Ni, Cu, Si, H); г – нейтральні (Zr, Sn)

Рисунок 1.5 – Типи легуючих елементів та їх вплив на фазові діаграми легуючих сплавів [2]

Одним з найпоширеніших сплавів на основі титану є сплав Ti-6Al-4V. В α фазі до 4.5% Al, решта в β фазі. Ti-6Al-4V є $\alpha + \beta$ сплавом на основі титану, який включає 6% Al, який є α стабілізатором та 4% V який належить до β стабілізаторів. За температури 980°C відбувається $\alpha \leftrightarrow \beta$ перехід, за вищої

температури сплав складається із 100% β фази. Мікроструктура сплаву залежить від швидкості охолодження при повільному охолодженні відбувається перехід від β до α фази, при швидкому охолодженні утворюється голчаста β структура [4].

1.3.2 Фазова діаграма Ti – Al

Алюміній є одним з найбільш поширених α стабілізаторів і тому присутній у багатьох титанових сплавах. Діаграма стану Ti – Al зображена на рисунку 1.6. Подвійна діаграма стану показує що зі збільшення вмісту алюмінію з'являється фаза Ti_3Al , формування двофазної області починається приблизно з 5% Al [9]. Для того щоб уникнути значної кількості когерентних осадів Ti_3Al в α фазі, вміст алюмінію у багатьох сплавах обмежений 6%. При додаванні 6% алюмінію у чистий титан температура $\alpha \leftrightarrow \beta$ переходу збільшується з 882°C до 1000°C. Діаграма стану Ti – Al є основою для створенні титану-алюмінідів на основі двох інтерметалічних сполук Ti_3Al та $TiAl$ [9].

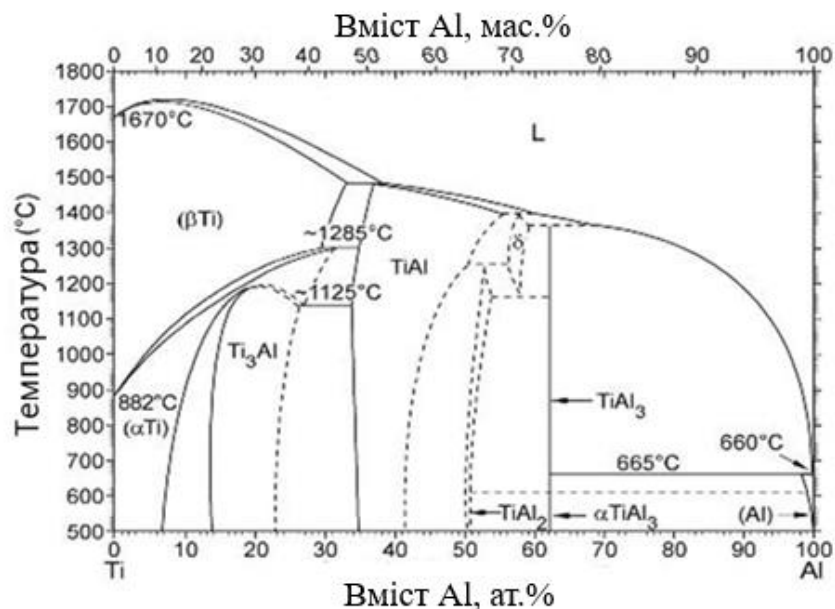


Рисунок 1.6 – Фазова діаграма Ti – Al [9]

Основні морфотропні перетворення які відбуваються в системі Ti – Al зі зміною електронної концентрації:

- $D0_{22}(TiAl_3) \rightarrow D0'_{23}(Ti_5Al_{11})$;
- $D0'_{23}(Ti_5Al_{11}) \rightarrow h-Ti_2Al(oC12)$;
- $h-Ti_2Al(oC12) \rightarrow L1_0(TiAl)$;
- $L1_0(TiAl) \rightarrow D0_{19}(Ti_3Al)$;
- $D0_{19}(Ti_3Al) \rightarrow (A3)$ [10].

1.3.3 Фазова діаграма Ti – Ni

У діаграмі стану Ti – Ni яка представлена на рисунку 1.7, можна побачити що у системі утворюються три сполуки: Ti_2Ni , $TiNi$ та Ti_3Ni . Сполука Ti_2Ni утворюється при проходженні перитектичного перетворення та має область гомогенності. При температурі $700^\circ C$ область гомогенності складає 2 ат.% та зменшується при пониженні температури.

Сполука $TiNi$ кристалізується при температурі $1310^\circ C$. З зменшенням температури розчиняє в собі деяку кількість Ni що призводить до появи області гомогенності. При температурі нижче $630^\circ C$ розпадається на суміш двох фаз Ti_2Ni та Ti_3Ni [11].

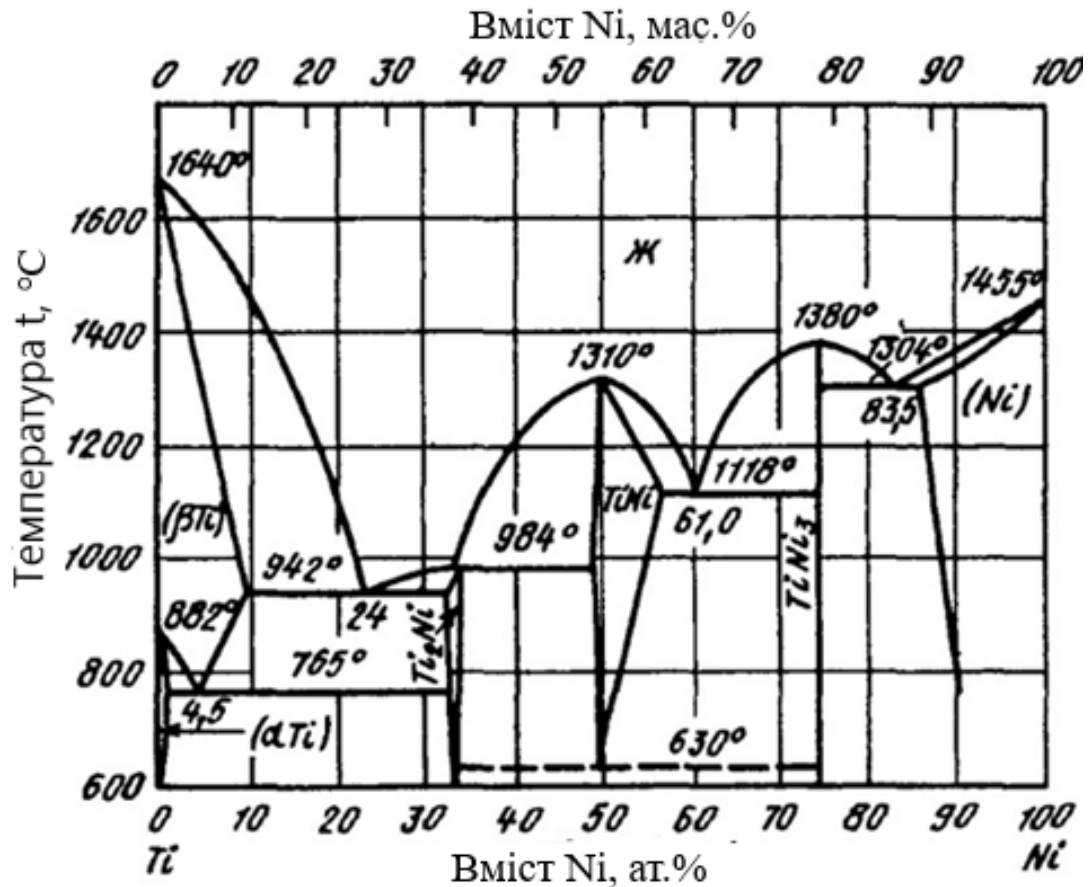


Рисунок 1.7 – Фазова діаграма Ti – Ni [11]

Концентраційні залежності температури плавлення та ентальпії утворення інтерметалідів в системі Ti – Ni зображені на рисунку 1.7 [12] та рисунку 1.8 [13], зі зміною концентрації Ni в системі спостерігаються наступні морфологічні перетворення:

- $A3(\text{Ti}) \rightarrow E9_3(\text{NiTi}_2)$;
- $E9_3(\text{NiTi}_2) \rightarrow B2(\text{TiNi})$;
- $B2(\text{TiNi}) \rightarrow D0_{24}(\text{Ni}_3\text{Ni})$;
- $D0_{24}(\text{Ni}_3\text{Ni}) \rightarrow A1(\text{Ni})$.

Структура $E9_3$ є довгоперіодичною, та має велику гранецентровану кубічну ґратку, яка містить 96 атомів Ni та Ti. Таку структуру можна уявити у вигляді як структуру яка складається з восьми кубічних комірок, які мають дві структури які чергуються. Тетраедри і октаедри представляють собою тетраедричні та октоедричні групи атомів Ni та Ti відповідно [12], [13].

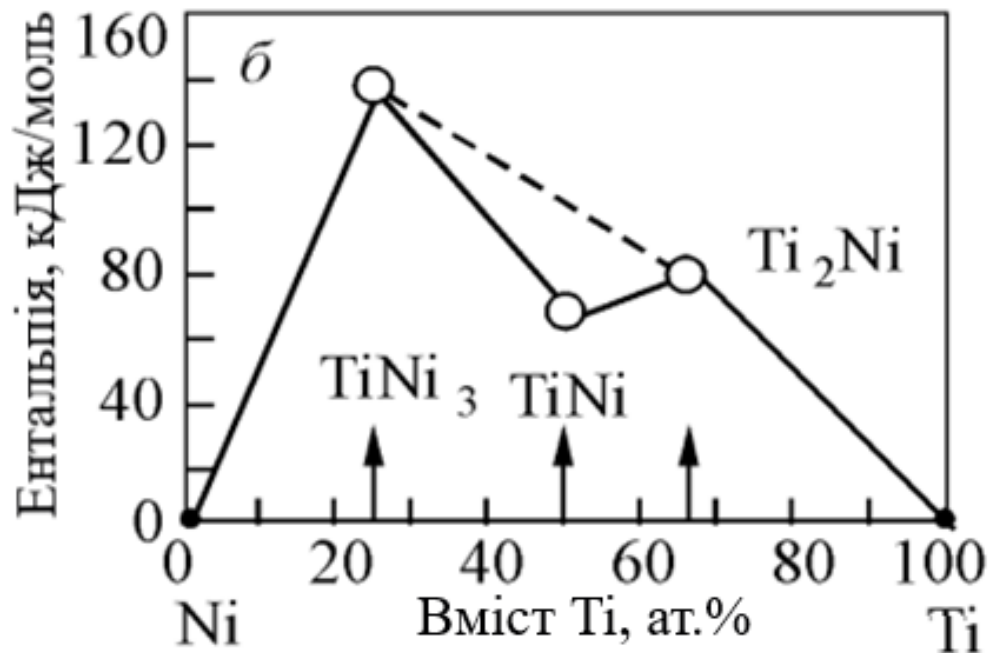


Рисунок 1.7 – Концентраційна залежність ентальпії утворення в інтерметалідних утвореннях у системі Ti – Ni [12]

Зі збільшенням концентрації атомів Ni утворюється інтерметалід $\text{D0}_{24}(\text{Ni}_3\text{Ti})$ з гексагональною сингонією в області гомогенності [14].

Металічні сполуки мають в собі дві характерні властивості. По перше в цих сполуках координаційне число найближчих сусідів у структурі, більше числа валентних електронів на елементарну комірку. Друга відмінність пов'язана з кристалографією, а саме розміщення атомів різних компонентів по вузлах кристалічної ґратки : упорядковано, або статистично. Це свідчить про те що легування іншим елементом призводить до делокалізації міжатомних зв'язків [15].

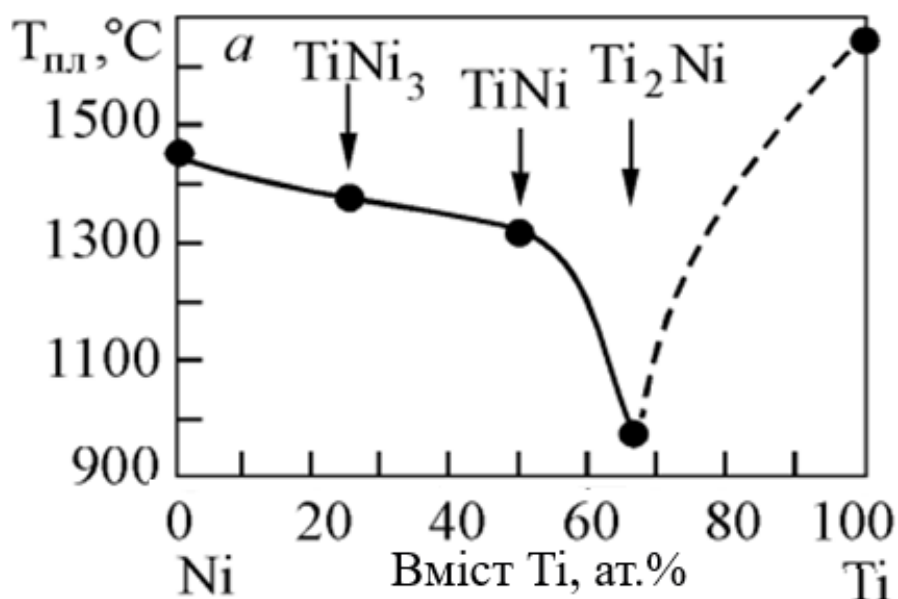


Рисунок 1.8 – Концентраційна залежність температури плавлення в інтерметалідних утвореннях у системі Ti – Ni

Існуючі у різних концентраційних областях інтерметалічні сполуки мають дуже відмінну між собою структуру. Структурні характеристики інтерметалідів які утворюються у системі Ti – Ni [16] занесені у таблицю 1.5 [17].

Таблиця – 1.5 Структурні характеристики інтерметалідів [17]

Хімічний склад	Структура	Просторова група	a, нм	b, нм	c, нм	β , °
1	2	3	4	5	6	7
Ni ₃ Ti	D0 ₂₄	P6/mcc	0,51	-	0,83	90
Ti ₂ Ni ₃	-	-	0,414	0,828	1,352	90
Ti ₃ Ni ₄	-	-	0,66	-	-	133,77
NiTi	B2	Pm3m	0,3015	-	-	90

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

NiTi	B19	Pmcm	0,289	0,416	0,462	97,6
NiTi ₂	E9 ₃	Fd3m	1,13	-	-	90

1.4 Створення покриттів на титанові сплавах

1.4.1 Створення покриттів на основі азоту та вуглецю на VT6

Для технології нанесення покриття на основі азоту та вуглецю був обраний титановий сплав VT6. Отримання даного покриття включає в себе такі технологічні операції, як: азотування та нітроцементацию.

Операція азотування проводиться протягом 2 годин при температурі 950°C, в результаті якої отримують шар товщиною 2,5 – 3,0 мкм та мікротвердістю 15 – 16 ГПа [18].

Процес нітроциментации проходить протягом 2 годин при температурі 900°C, в результаті якого на поверхні утворюється двохшаровий матеріал який складається з зовнішнього шару на основі TiN, та внутрішнього шару на основі карбиду TiC. Товщину та значення мікротвердості шарів можна побачити у таблиці 1.5 [18].

Таблиця 1.5 – Характеристики шарів зносостійких покриттів на основі азоту та вуглецю [18]

Сполука	Товщина шару, мкм	Мікротвердість
TiN	2,0	15-17
TiC	2,5-3,0	24-25

Проведені вимірювання коефіцієнтів тертя відображені у таблиці 1.6. З таблиці можна побачити що коефіцієнт тертя менший ніж для титанового сплаву VT6. Це пояснюється тим, що під час процесу тертя поверхневий шар який складається з TiN розігрівається і окислюється, що у свою чергу утворює оксид титану який є досить пластичним при підвищених температурах і виступає в ролі сухого мастила. Стійкими окислами титану є анатаз (TiO₂) – тетрагональна

гратка, густина 3,9 г/см³, рутил (TiO₂) тетрагональна гратка, густина 4,2 – 4,3 г/см³ та брукіт (TiO₂) – ромбічна гратка, густина 3,8 – 4 г/см³.

Таблиця 1.6 – Коефіцієнти тертя [18]

Час випробування, хв	Наванта- ження, Н	Швидкість, м/хв	Коефіцієнт тертя		
			Вид обробки		
			Вихідний	Азотування	Нітроцементация
1	30	2,5	0,44303	0,43274	0,43053
		7,5	0,44375	0,43819	0,42916
3	30	2,5	0,44315	0,43573	0,40262
		7,5	0,44247	0,43573	0,42822
5	20	2,5	0,45381	0,42393	0,38654
		5	0,44096	0,42393	0,40166
		7,5	0,45831	0,41820	0,37028
	30	2,5	0,45831	0,44372	0,42874
		5	0,45831	0,44474	0,43877
		7,5	0,45831	0,44475	0,36500

Отримане покриття на сплаві ВТ6 зменшує коефіцієнт тертя на 10-20% відносно коефіцієнту тертя для основи, в умовах сухого тертя.

1.4.2 Створення покриттів на основі хрому та алюмінію на титанових сплавах

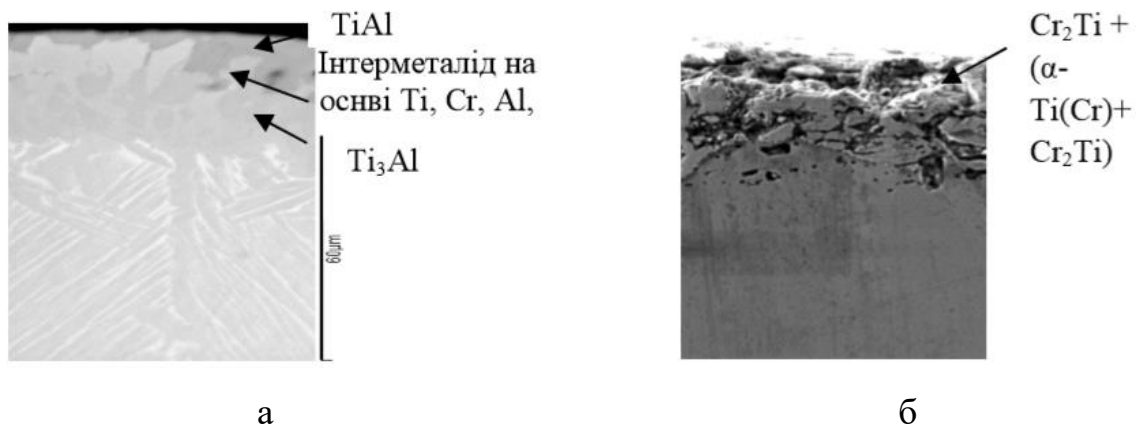
Покриття на основі хрому та алюмінію створювалися за двома технологіями: нанесення хромоаналізованого покриття на сплав ВТ6 в середовищі хлору, та дифузійне хромування технічно чистого титану.

Технологія нанесення хромоаналізованого покриття включала в себе витримання протягом 2 годин при температурі 1050 ° С виробів з ВТ6 разом з

насичувальною сумішшю. Насичувальна суміш включає в себе: 5% Al, 45% Cr, 47% Al_2O_3 та 3% активатору NH_4C [19].

Технологія дифузійного хромування включає в себе витримування протягом 4 годин при температурі 1050°C виробів з технічно чистого титану. В якості суміші з хромом використовували порошок 50% Cr, 5% NiCl_2 , 45% Al_2O_3 .

Мікроструктуру виробів які були отримані за двома технологіями можна побачити на рисунку 1.6 [19].



а – виріб отриманий нанесенням хромоаналізованого покриття на сплав ВТ6,

б – виріб отриманий дифузійним хромуванням на технічно чистий титан

Рисунок 1.6 – Мікроструктура покриттів отриманих на ВТ6 та ВТ1-0

Мікроструктура отриманого хромоаналізованого покриття складається з трьох основних зон. Поверхнева зона представлена зернами сірого кольору розміром від 5,0 до 14,5 мкм, які не утворюють суцільного шару. Проміжна зона являється інтерметалідом, який містить в собі Ti, Al, Cr та V. Третя зона, яка має границю розділу з матеріалом основи, є суцільним шаром Ti_3Al [19].

Мікроструктура покриття отриманого дифузійним хромуванням представляє собою гетерогенну зону з товщиною 15-20 мкм, під якою знаходиться шар α -Ti з включеннями Cr_2Ti . Вміст елементів та мікротвердість для кожної фази занесено до таблиці 1.7 [19].

Основною ідеєю зносостійких покриттів на металах є незмінна фазова та мікроструктура будова основи матеріалу із нанесенням шарових, інколи

багатошарових покриттів, що дозволяє поєднання щільних і твердих нижніх шарів основного матеріалу із м'яким, пористим, зносостійким верхнім шаром, що легко пристосовується до поверхонь в парі поєднання деталей. Крім цих властивостей, для покриттів необхідно отримувати міцність його з'єднання з основним металом. Міцність поєднання покриття та основного матеріалу залежить від спорідненості їх ґраток.

Таблиця 1.7 – Фазовий, хімічний склад та мікротвердість хромоаналізованих та хромованих покриттів [19]

Сплав	Вид покриття	Фаза	Вміст елементів, %мас				Мікротвердість, ГПа
			Al	Cr	Ti	V	
BT6	Хромоалітоване	TiAl	27,8	5,4	64,3	2,4	5,0–8,0
			–	–	–	–	
			27,9	4,3	65,6	2,2	
		інтерметалід за участю (Ti, V, Cr, Al)	19,9	15,	57,8	6,4	7,0–9,0
			–	8 –	–	–	
			20,3	13, 6	60,5	5,6	
BT1-0	Хромоване	Ti ₃ Al	21,4	4,9	69,5	4,2	8,0–11,0
			–	–	–	–	
			20,3	5,3	68,9	5,5	
		Cr ₂ Ti + (αTi(Cr)+Cr ₂ Ti)	–	10–3,0	97,0 – 90,0	–	5,5–9,0
			–	3,0	97,5 – 97	–	
			–	2,5	–	–	

1.5 Фізичні властивості MAX фаз

Останнім часом розвиток утворення покриттів отримали методи створення ієрархічних шаруватих структур, які складаються з нанорозмірних поверхневих зерен на ультратонких підповерхневих шарів з великими зернами в центральній частині матеріалу. Така модифікація поверхневих шарів титанових сплавів може здійснюватися за допомогою термомеханічних процесів, іонної імплантації, а також легування поверхні природними нано-ламінатами із шаруватих потрійних карбідів і нітридів з d і p елементами (наприклад, MAX-фаз на основі системи Ti – Al – C) [21], [22], [23].

Природню шарувату структуру мають довгоперіодичні кристалічні фази. Атоми в таких фазах щільно упаковані і характеризуються значною величиною зв'язку в межах кожного шару, втім як окремі шари мають значну пластичність – можливість зсуватися один відносно одного.

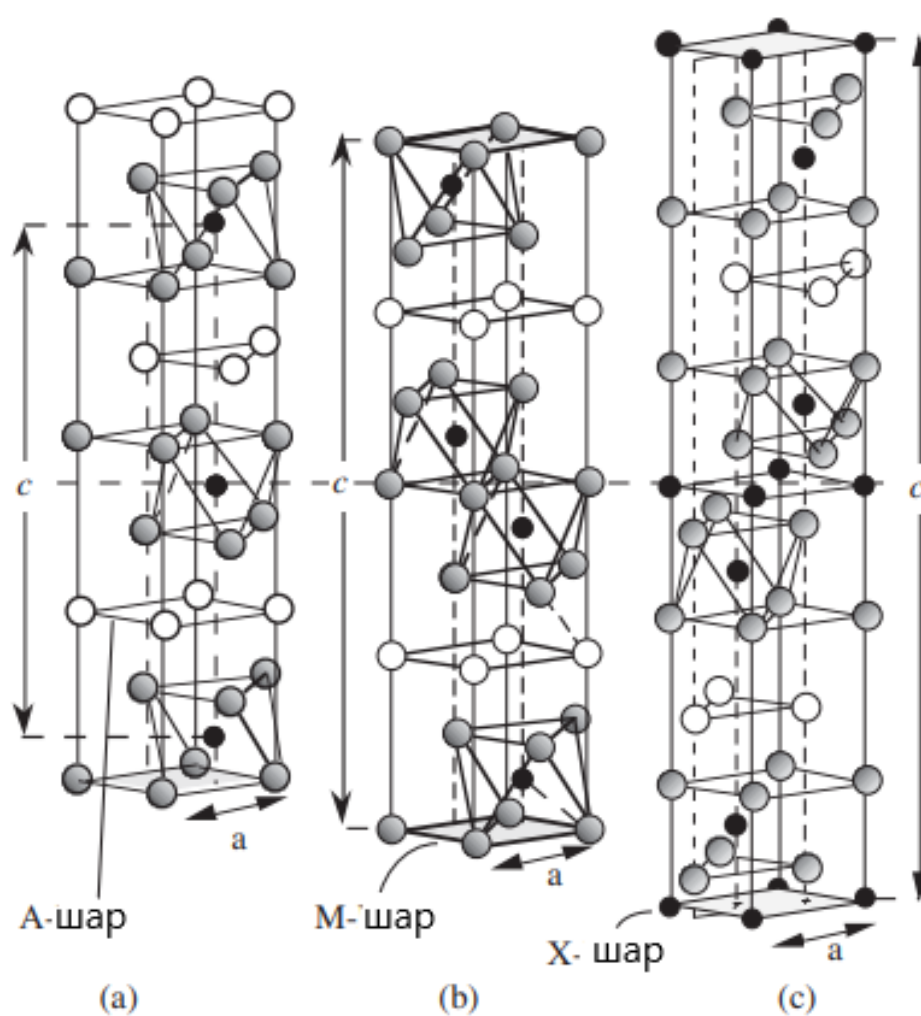
До MAX фаз належать потрійні нітриди та карбіди які мають формулу $M_{n+1}AX_n$ де $n = 1, 2$ або 3 . MAX фази об'єднують у собі ряд унікальних властивостей: гарну пружню жорсткість, гарну тепло та електро провідність, низький коефіцієнт теплового розширення. Вони мають гарну термостійкість та стійкість до пошкодження, відносно невелику твердість $1-5$ ГПа, та в більшості є легко оброблюваними [20].

Структурні одиниці фаз 211, 312 та 413 зображені на рисунку 1.7. В кожному випадку майже щільноупаковані M шари переплітаються з шарами чистого елемента A, та атомами X фази які заповнюють октоедричні ділянки між фазами.

MAX фази мають гарну пружню жорсткість особливо це можна віднести до 312 да 413 фаз. Враховуючи їх невелику густину, яка складає 4.5 г см^{-3} , їх відносна жорсткість досить висока. Збільшення вмісту елемента A призводить до пом'якшення кристалічної ґратки. На відміну від інших шаруватих матеріалів таких як графіт або BN з їх високими значеннями анізотропії, анізотропія у MAX фазах є досить м'якою. Механічні властивості MAX фаз занесені у таблицю 1.8.

Таблиця 1.8 – Механічні властивості MAX фаз на основі титану [20]

Фаза	Густина, г см ⁻³	G, ГПа	E, ГПа
Ti ₂ AlC	4.1	118	277
Ti ₃ SiC ₂	4.52	139	339
Ti ₃ GeC ₂	5.02	142	340
Ti ₃ AlC ₂	4.2	124	297
Ti ₄ AlN ₃	4.7	127	310
TiC _{0.96}	4.93	205	500

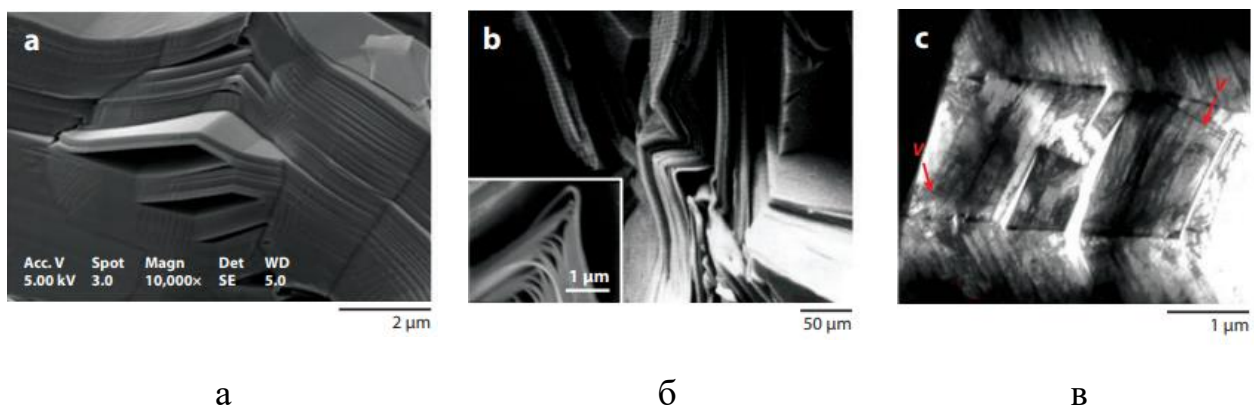


a – M₂AX; b – M₃AX; c – M₄AX

Рисунок 1.7 – Схематичне зображення структурних одиниць у MAX фазах [20]

Під час пластичної деформації у МАХ фазах деформація починається з м'яких та сприятливо розташованих зерен по базисних площинах, та швидко переходить на більш тверді або не сприятливо розташовані зерна. Ще однією характерною ознакою МАХ фаз є анізотропія зламу, яка зображена на рисунку 1.8 [24].

При дослідженні високо орієнтованих макрогранульованих зразків Ti_3SiC_2 , результати показали високу анізотропію властивостей. При орієнтації базисних площин на ковзання, деформація відбувалась утворенням класичних смуг зсуву. Коли площини ковзання мають напруження зсуву близько до «нульових», деформація ковзанням є малоімовірною, деформація відбувається комбінацією утворення групи зламів та розшарування у межах окремих зерен. Ці спостереження свідчать про те, що утворення групи зламів є потужним пригнічувачем розшарувань, і є однією з причин високої стійкості до пошкоджень МАХ фаз. Пригнічення розшарувань в МАХ фазах є наслідком значної величини зв'язку в межах кожного шару [25].



а – мікроструктура Ti_3SiC_2 який не втримав навантаження [26]; б – типовий злам та розшарування у зламі Ti_3SiC_2 [26]; в – полоса зламу з великим кутом розорієнтації та мікротріщинами [28]

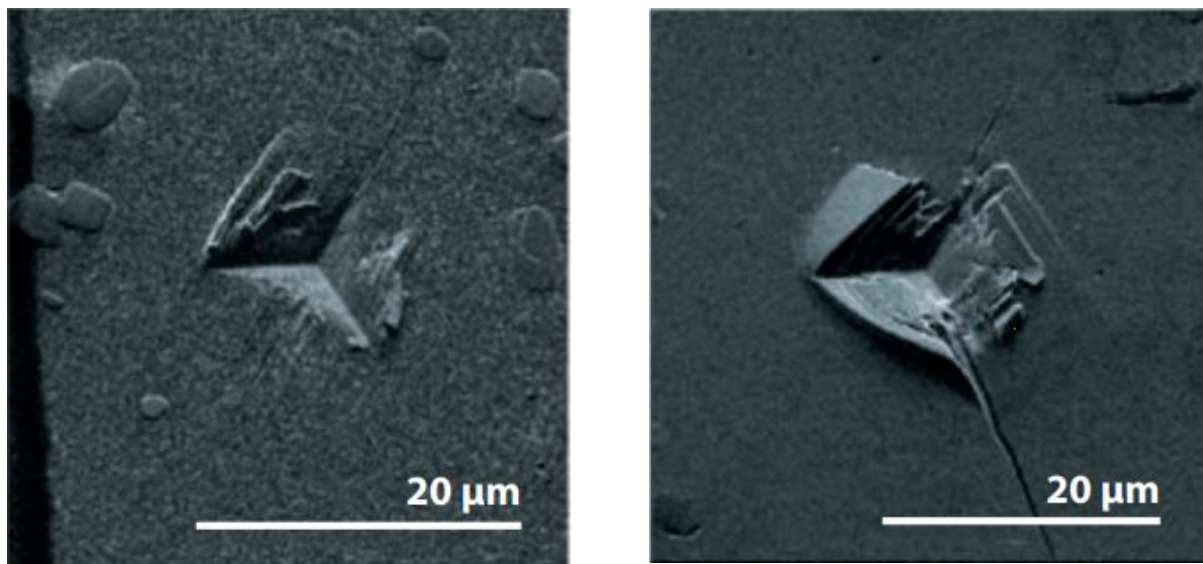
Рисунок 1.8 – Типові приклади деформації наноламініатних матеріалів

Через анізотропію МАХ фаз, анізотропною є також реакція на наноіндентування. Коли базисні площини знаходяться перпендикулярно до площини вимірювання, спостерігається розшарування та створення тріщин.

Навпаки при паралельному розміщенні до площини вимірювання, спостерігається деформація групою зламів [29].

Визвати утворення тріщин при наноіндентуванні досить важко, замість тріщин утворюється розшарування, зернові виштовхування та вигини, що можна побачити у районі навколо відбитка. Це можна спостерігати на рисунку 1.9. Руйнування МАХ фазах відбувається пошарово зі збільшенням навантаження це можна побачити на рисунку 1.10 [30].

МАХ фази на відміну від аналогів МХ, відносно м'які та дуже стійкі до отримування пошкоджень. Значення твердості по вікерсу для більшості полікристалічних МАХ фаз становить 2 – 8 ГПа, це значення менше ніж у кераміки, але більше ніж у більшості металів [31].

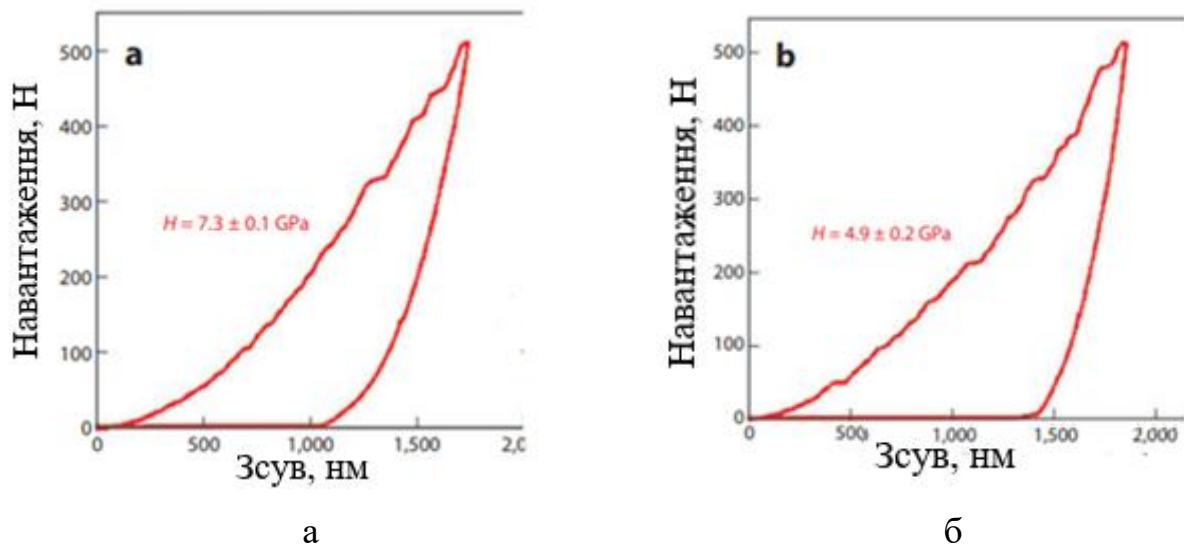


а

б

а – відбиток наноіндентору коли площини ковзання перпендикулярні до площини вимірювання; б – відбиток наноіндентору коли площини ковзання паралельні до площини вимірювання

Рисунок 1.9 – Відбитки наноіндентору при різному розміщенні базисних площинах [22]



а – при розташуванні площин ковзання перпендикулярно навантаженню;

б – при розташуванні площин ковзання паралельно навантаженню

Рисунок 1.10 - Крива навантаження Ti_3SiC_2 в залежності від розташування базисних площин [22]

Деякі фізичні властивості МАХ фаз, такі як теплове розширення, пружні властивості, мають багато спільного з подвійними фазами МХ. Але електронна структура та електропровідність більш схожі на перехідні метали. Унікальна комбінація властивостей якими володіють МАХ фази, це простота обробки, термічна та структурна стабільність, висока електро та термопровідність дозволяє використовувати їх для виготовлення електричних контактів і підшипників, елементів деталей, що нагріваються, сопла, теплообмінники та інструменти для прес – форм [32].

1.6 В'язкість руйнування та міцність в ієрархічних наноструктурованих сплавах

Після проведення рекристалізаційного відпалу та обробкою старіння у мікроструктурі TiZrAlV з'являється значна величина залишкових напружень. Значення збільшення зсуву та навантаження збільшуються зі збільшенням

деформації від 0 до 93%, що вказує на збільшення в'язкості руйнування. На рисунку 1.11 зображені криві навантаження зсуву [33].

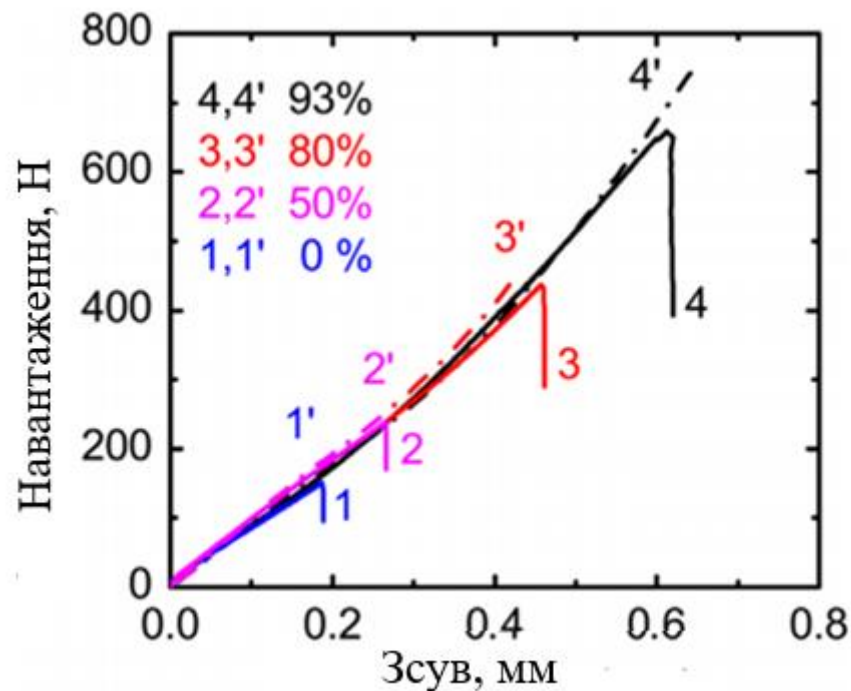
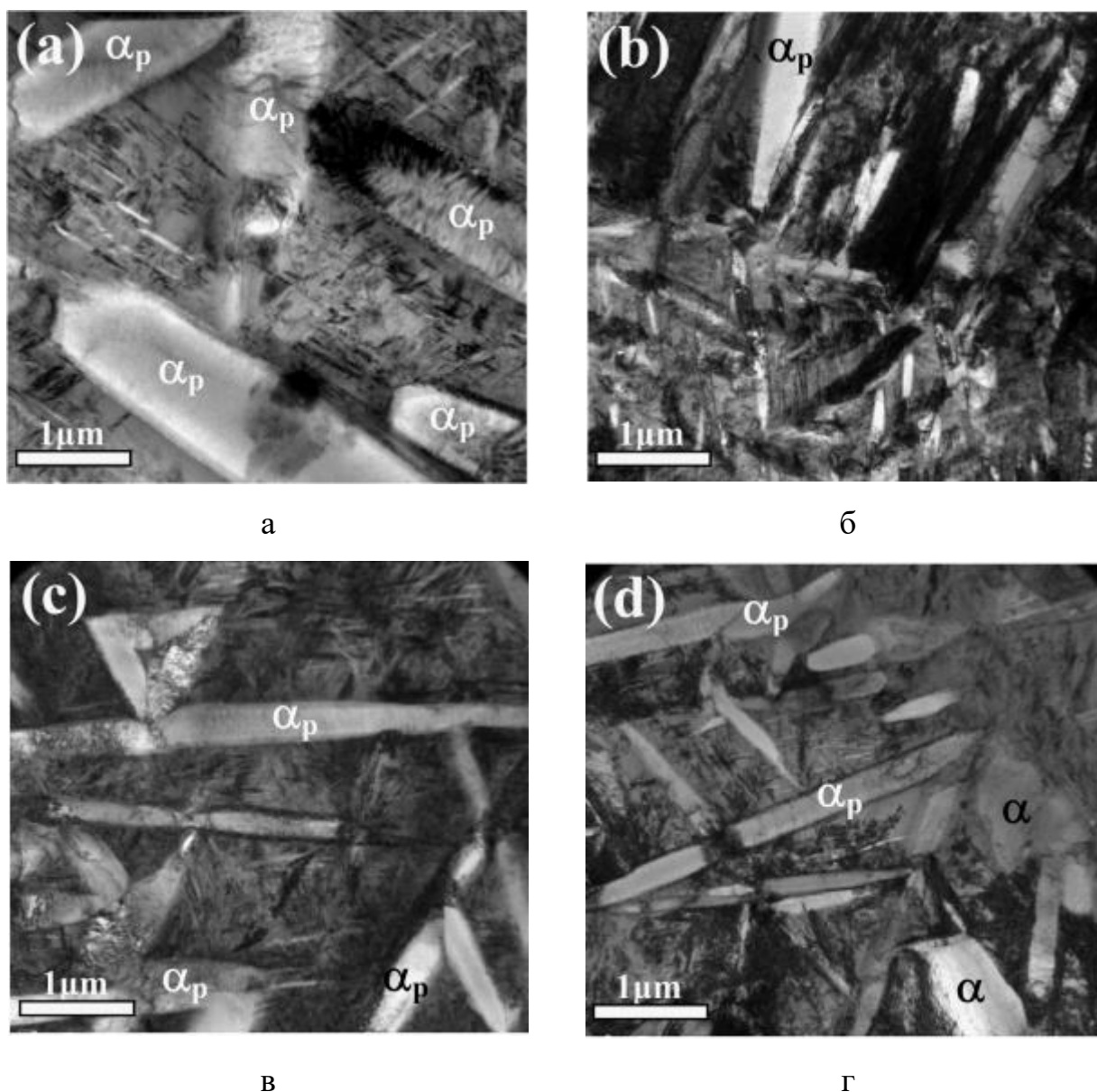


Рисунок 1.11 – Криві навантаження зсуву в залежності від ступеня деформації

Недеформований TiZrAlV показує низькі значення межі міцності та в'язкості руйнування які складають $\sigma_s = 1284$ МПа та $K_{Ic} = 37$ МПа м^{1/2} та зростають до значень $\sigma_s = 1438$ МПа та $K_{Ic} = 58$ МПа м^{1/2}, при максимальній деформації яка складає 97%. Як можна побачити у матеріалі одночасно збільшується як межа текучості, так і в'язкість руйнування [34], [35], [36].

Дослідження методами електронної мікроскопії показують, що сильно деформований TiZrAlV після процедури відпалу та старіння, має пластинчасту структуру. Дослідження сплавів стабілізованого β титану показують, що при збільшенні температури відпалу α фаза з'являється безпосередньо у β зернах, існують головні та вторинні α фази в залежності від порядку їх утворення. Обидві мають пластинчасту структуру, перша представляє собою велику пластину, а друга маленьку. Мікроструктура деформованого сплаву зображена на рисунку 1.12 [37].



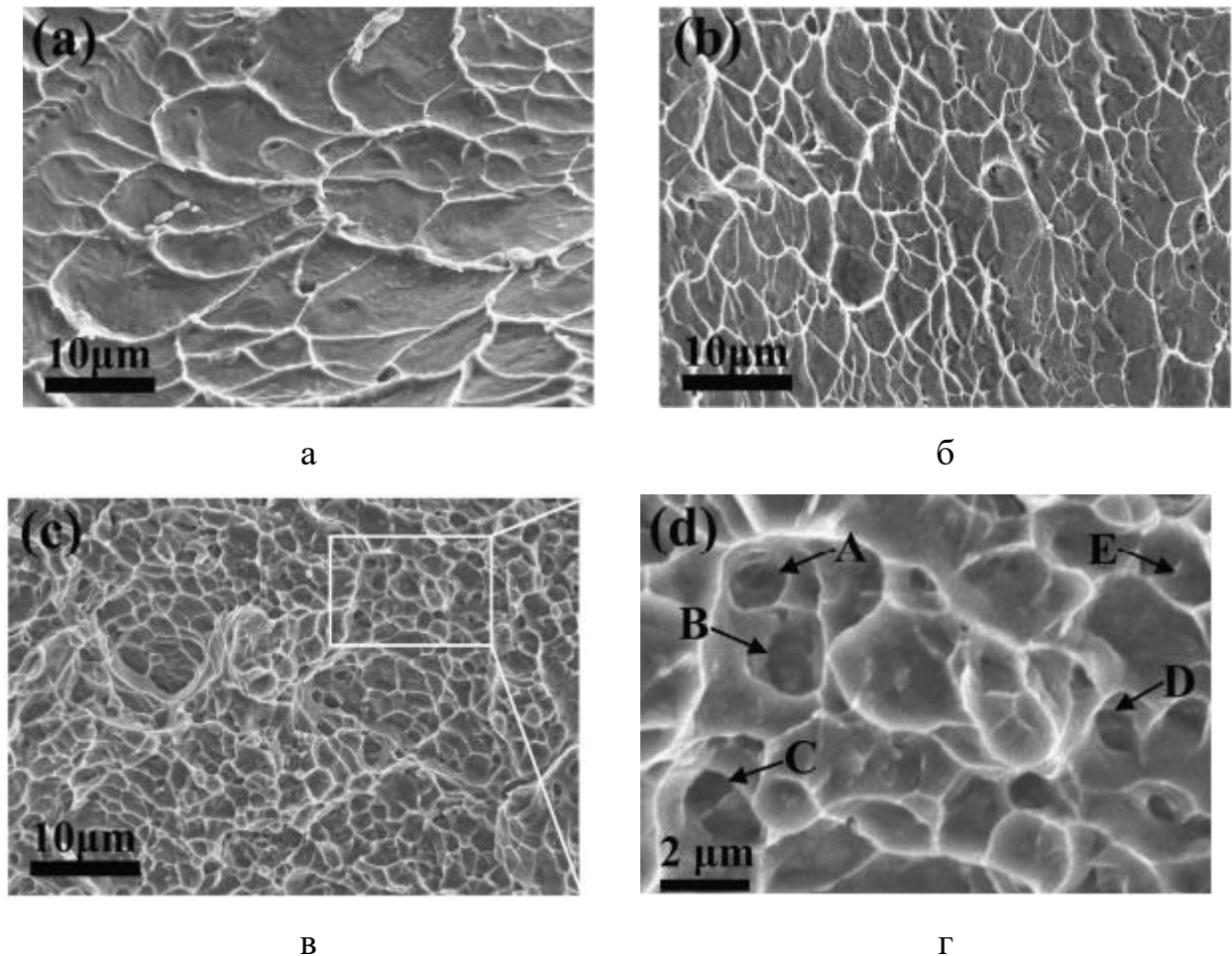
а – 0% деформації; б – 50% деформації; в – 70% деформації;
г – 93% деформації

Рисунок 1.12 – Мікроструктура сплаву TiZrAlV після проведення рекристалізаційного відпалу та старіння

При дослідженні зразка розтягнутого на розрив, можна спостерігати підвищення густини дислокацій у великих пластинках та зернах, показуючи, що вони здатні ефективно накопичувати в собі великі напруження при кімнатній температурі. Це буде сприяти збільшенню пластичності та запобігати росту

тріщин. На рисунку 1.13 можна побачити неглибоку, у вигляді ямочок, поверхневу структуру зламу, що вказує на супротив росту тріщини у зразку.

Ряд значних поглиблень який спостерігається на рисунку 1.13 (г), свідчить про те що для росту тріщини потрібна більша кількість енергії, це свідчить про високу тріщиностійкість даного матеріалу [39].



а – мікроструктура недеформованого зламу; б – мікроструктура сплаву з відносною деформацією 50%; в – мікроструктура сплаву з відносною деформацією 97%; г – мікроструктура сплаву з позначеними на ній поглибленнями, які виникли в результаті росту тріщини

Рисунок 1.13 – Мікроструктура сплаву TiZrAlV після випробовування на розтяг [41]

На рисунку 1.14 приведені данні межі текучості та в'язкості руйнування TiZrAlV у порівнянні з іншими дослідженнями $\alpha+\beta$ та β титанових сплавів. Як у

більшості конструкційних матеріалів у $\alpha+\beta$ та β титанових сплавах спостерігається чітке співвідношення між в'язкістю руйнування та межею текучості, яке показано сірою зоною на рисунку 1.14. Проте TiZrAlV зі збільшенням рівня деформації демонструє чудове співвідношення цих властивостей і зразок з рівнем деформації 93% знаходиться далеко від сірої зони [42], [43].

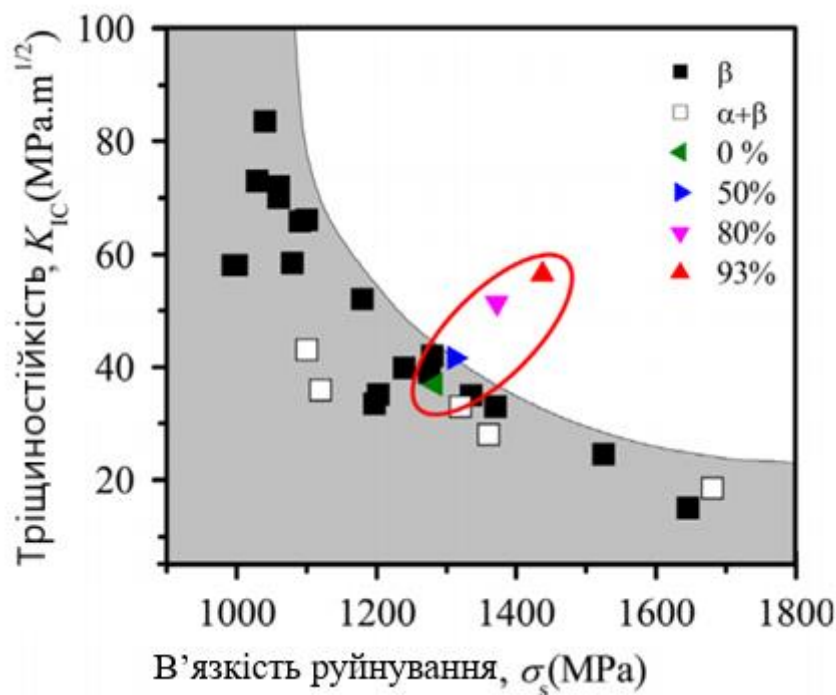


Рисунок 1.14 – В'язкість руйнування та межа текучості $\alpha+\beta$ та β титанових сплавів у порівнянні з TiZrAlV [43]

1.7 Висновки та постановка задач дослідження

В роботі розглянуті структура і властивості титанових сплавів різного класу. Визначено переваги і недоліки їх використання в різних температурно - силових умовах навантаження. Показано можливість підвищення властивостей за рахунок нанесення поверхневих шарів, утворення градієнтних структур різними методами, застосування спеціального легування з формуванням довгоперіодичних структур – МАХ фаз.

На основі проведеного огляду була поставлена задача дослідження:

дослідити можливість створення методом порошкової металургії на титановому сплаві ВТ6 нано – ламінатної структури (МАХ фази) при його поверхневому легуванні промисловим порошком на основі Ni.

Для досягнення мети треба вирішити наступні задачі:

1. Провести літературний огляд нанесення покриттів порошковими методами.
 2. Обґрунтувати склад легувального порошку для отримання зносостійкого покриття.
 3. Отримати покриття на титановому сплаві ВТ6.
 4. Дослідити мікротвердість та тріщиностійкість отриманого покриття.
 5. Дослідити мікроструктуру покриття та матеріалу основи.
- Провести фазовий аналіз покриття та матеріалу основи.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вихідні матеріали

У якості матеріалу основи був обраний титановий сплав ВТ6. Сплав був виготовлений з суміші порошків гідриду титану фракції 100 мкм з концентрацією водню яка відповідає однофазному TiH_2 стану порошку та комплексною лігатурою 60Al-40V дисперсністю 63 мкм.

Покриття виготовлялося з порошків:

- ПРН65Х25С3РЗ - це порошок на основі нікелю, який містить: 25% Cr, 2,5% В, 2,7% Si, 5% Fe, 1,2% С.
- ПРНХ18С5Р5 - це порошок на основі нікелю, який містить: 17,5% Cr, 4,2%В, 4,6% Si, 5% Fe, 1,2% С.

Суміш порошків TiH_2 та 60Al-40V у кількості, яка відповідає сплаву ВТ6, змішували у барабанному змішувачі типу «п'яна бочка» 12 годин. Отриману суміш засипали у стальну розбірну прес-форму, на поверхню засипали порошок ПРН і порошкову суміш компактували при двосторонньому пресуванні з тиском 640 МПа. Спінання проводили в вакуумі 10^{-3} Па. за температури 1250 °С на протязі 4 год.

На зразках підготовлювали декілька поверхонь для дослідження. Одна – вздовж шарів матеріалу яка показувала його градієнтну структуру, інші з поверхні покриття.

2.2 Дослідження мікроструктури отриманого покриття

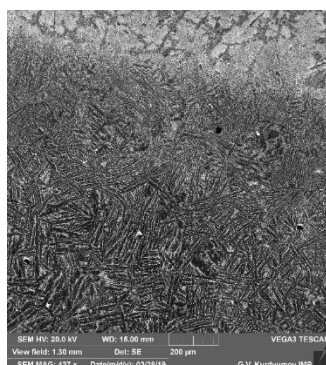
Для проведення металографічних досліджень отримані зразки запресовували у бакеліт. Були виготовлені шліфи на шліфувальному верстаті, із використанням шліфувального паперу, який мав зернистість Р180, Р320, Р600, Р800, Р1200, Р2500. Зменшуючи зернистість по мірі виготовлення шліфа, на останньому етапі для проведення полірування використовувався порошок оксиду алюмінію.

Металографічний аналіз проводився на електронному скануючому мікроскопі TESCAN VEGA 3 (рис. 2.1). У якості джерела електронів використовувався вольфрамовий термо-катод. Дослідження мікроструктури проводилися (рис. 2.1) у вакуумі 10^{-3} Па.

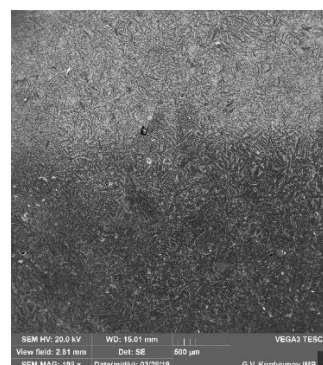


Рисунок 2.1 – електронний скануючий мікроскоп TESCAN VEGA 3

По програмі backscattered electrons з програмним забезпеченням компанії Bruker отримали відбиття з інформацією на основі контрасту по середньому атомному номеру.



а



б

а – мікроструктура покриття з порошку ПРН65Х25С3Р3; б – мікроструктура покриття з порошку ПРНХ18С5Р5

Рисунок 2.2 – Мікроструктури покриття отриманого на ВТ6

2.3 Проведення рентгенофазового аналізу

Рентгенівське дослідження фазового складу об'ємного та поверхневого шару проводили по рентгенограмам “ θ -2 θ ”, отриманим на дифрактометрі Rigaku Ultima IV (рис. 2.3) в CuK_α – випромінюванні з кроком переміщення детектора по «2 θ » 0.02° та часом експозиції 2 с.



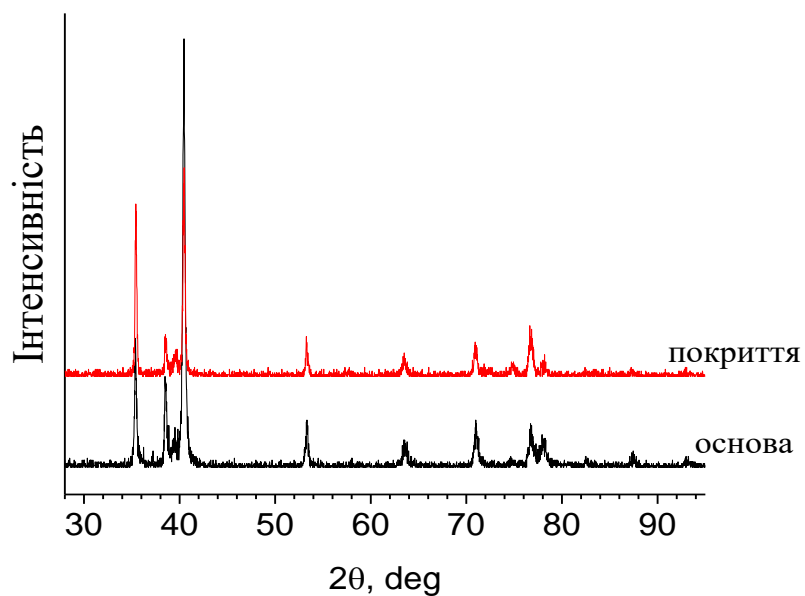
Рисунок 2.3 – дифрактометр Rigaku Ultima IV

Рентгенограми, які зображено на рисунку 2.4 розраховували з застосуванням програм по Рієтвельду и RIR.

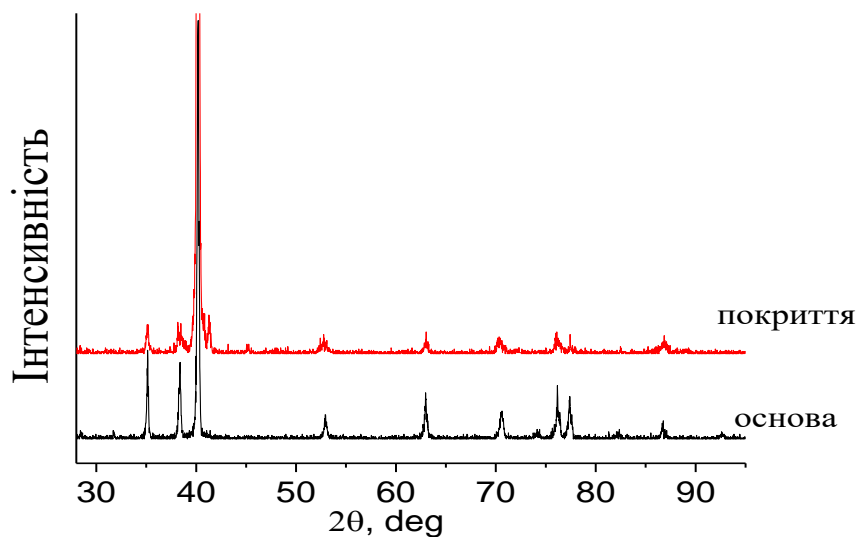
Фазовим аналізом називається дослідження кількості наявних фаз у матеріалі, встановлення їх відносного вмісту та ідентифікація. Для визначення характеристики речовини за рентгенівським методом, вимірюють інтенсивність ліній, їх кутове положення та по отриманій рентгенограмі визначають міжплощинні відстані.

На інтенсивність ліній на рентгенограмі впливає об'єм фазових складових, симетрія кристалічної структури фази її текстурний стан. Найбільшим

множником повторюваності володіють фази з кубічною ґраткою ($M_{hkl} = 48$). Складність вимірювання зростає з кількістю хімічних сполук, які містяться у зразку.



а



б

а – покриття леговане порошком ПРН65Х25С3Р3; б – покриття леговане порошком ПРНХ18С5Р5

Рисунок. 2.4 – Отримані рентгенограми матриці та покриття в

діапазоні 28° – 95° кутів " $\theta - 2\theta$ "

На інтенсивність розсіяних рентгенівських променів впливає також атомний номер розсіюючого елементу: чим він вище тим вище інтенсивність розсіяних променів. Через це фази з великими атомними номерами його складових краще виділяються на фоні фаз з менш важкими елементами.

На чутливість методу впливають такі фактори як:

- наявність кристалів з розміром менше 0,1 мкм;
- наявність мікровикривлень;
- висока грубозернистість.

Підвищити чутливість методу можна підготовкою зразка до зйомки. Необхідно виготовити якісні шліфи зразків матеріалу що досліджується та при необхідності провести хімічне або електрохімічне травлення [44].

Для вимірювання фаз які знаходяться нижче чутливості методу, цю вагу необхідно виділити із зразка розчиняючи основу сплаву.

2.4 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості

В результаті спікання основи (сплав ВТ6) та поверхневого покриття було отримано багатошаровий стан матеріалу, який умовно можна розділити на три зони. У кожній зоні багатошарового матеріалу було проведено вимірювання мікротвердості на приладі Wolpert Wilson Instruments 452 SVD. Отримані данні занесені до таблиці 2.1 та таблиці 2.2. При вимірюванні, числовим значенням вимірювання є відношення навантаження P на бокову поверхню F відбитка.

$$H\mu = \frac{P}{F} = \frac{P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{1,854 \cdot P}{d^2}, \quad (2.1)$$

де α – кут при вершині алмазної піраміди.

Якщо P виразити в Ньютонах, d – в метрах, то формула для обчислення мікротвердості прийме вигляд:

$$H\mu = \frac{1,854 \cdot P}{d^2} . \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1 – Отримані значення мікротвердості на зразку з покриттям ПРН65Х25С3Р3

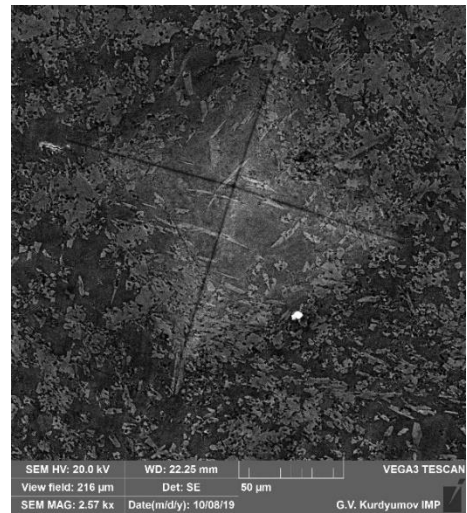
Номер виміру	Твердість матриці HV, МПа	Твердість перехідного шару HV, МПа	Твердість покриття HV, МПа
1	458	415	692
2	429,1	486	643,9
3	344	488	627,6
4	363	450	627,1
Середня	398,5	459,75	647,65

Таблиця 2.2 – Отримані значення мікротвердості на зразку з покриттям ПРНХ18С5Р5

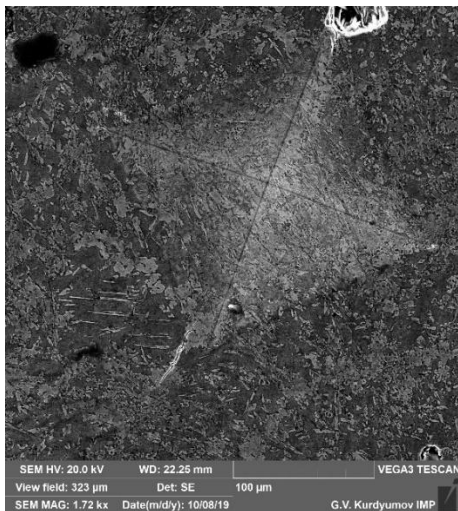
Номер виміру	Твердість Матриці HV, МПа	Твердість Перехідного шару HV, МПа	Твердість Покриття HV, МПа
1	480,2	488	692
2	464,3	486	670,9
3	420	490	650,6
4	457,3	476	666,1
Середня	455,45	485	669,9



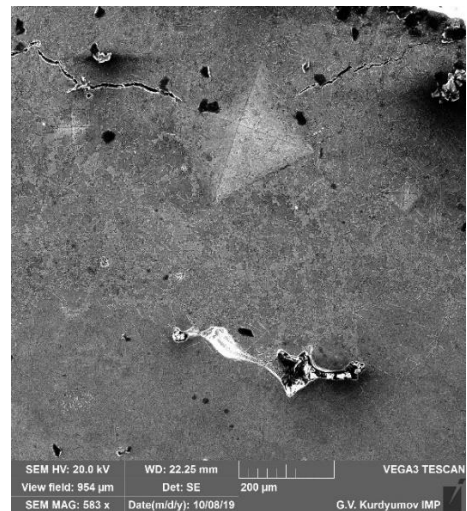
а



б



в



г

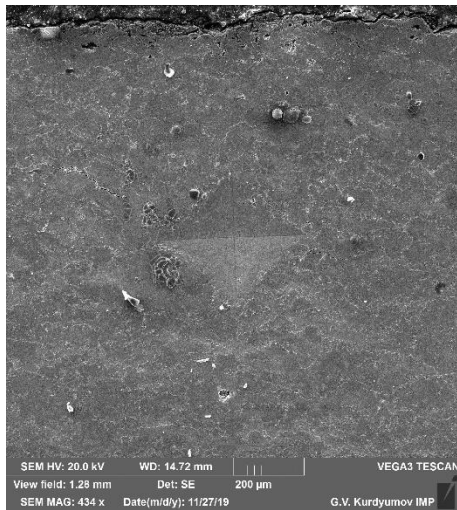
а – 5 Н; б – 10 Н; в – 20 Н; г – 30 Н

Рисунок 2.5 – Зображення відбитків індентору при різному навантаженні на покритті виготовленому з порошку ПРН65Х25С3Р3

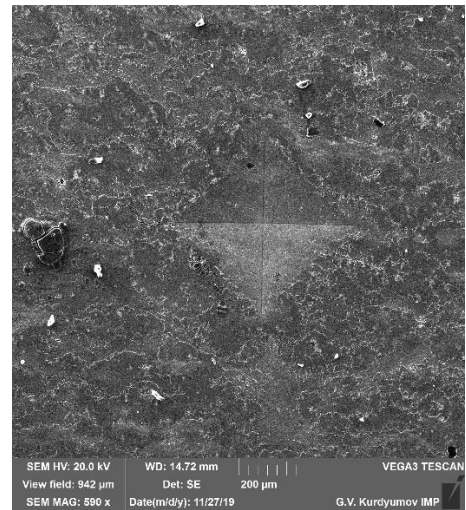
Тріщиностійкість була розрахована (табл. 2.3) за методикою мікроіндентування при навантаженнях 50 Н, 100 Н, 200 Н, 300 Н (рис.2.8, 2.9) за формулою

$$k_{1c} = \frac{0,075 \cdot P}{c^{1,5}}, \quad (2.3)$$

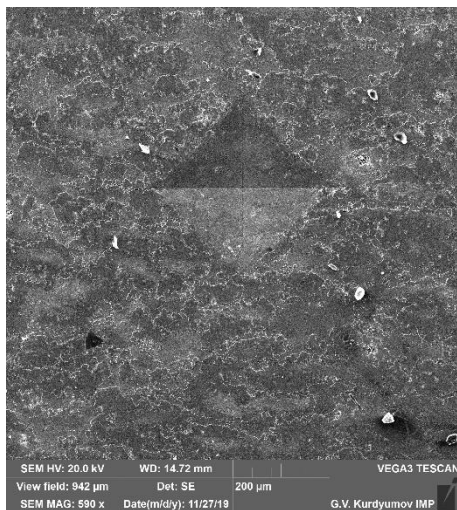
де c – половина довжини тріщини, що проходить через відбиток піраміди.



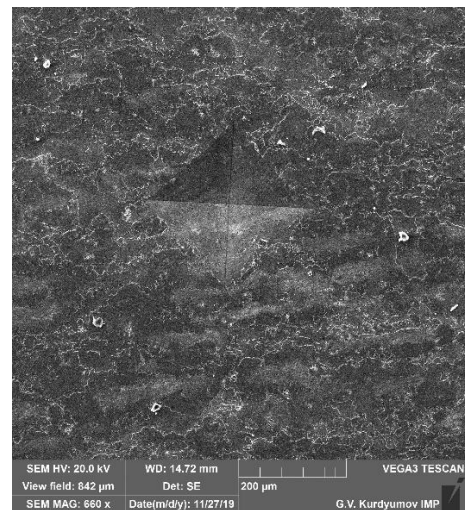
а



б



в



г

а - 5Н; б - 10Н; в - 20Н; г - 30Н

Рисунок 2.6 – Зображення відбитків індентору при різному навантаженні на покритті виготовленому з порошку ПРНХ18С5Р5

Отримані данні аналізувалися і співставлялись для різних покриттів, поверхонь та градієнтних зон зразків.

Таблиця 2.4 - Розрахунок тріщиностійкості для покриття із порошку ПРН65Х25С3Р3

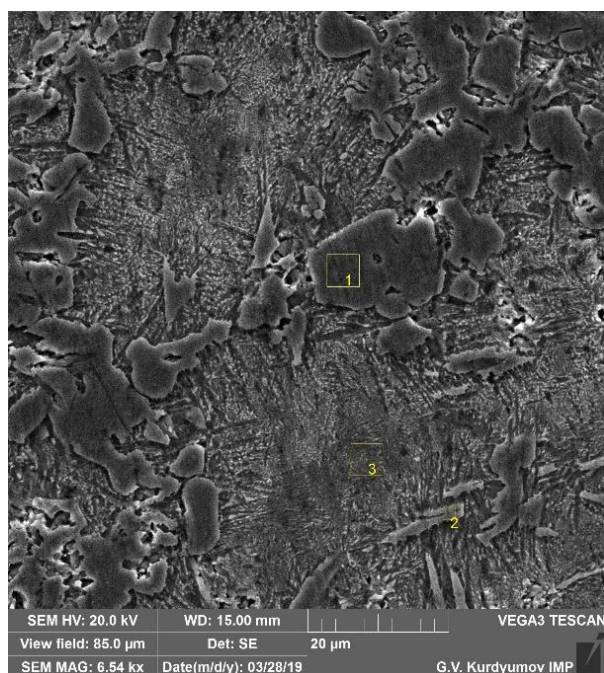
Навантаження	50Н	100Н	200Н	300Н
K_{Ic}	-	9,096	9,72	2,5

Таблиця 2.5 - Розрахована тріщиностійкість для покриття із порошку
ПРНХ18С5Р5

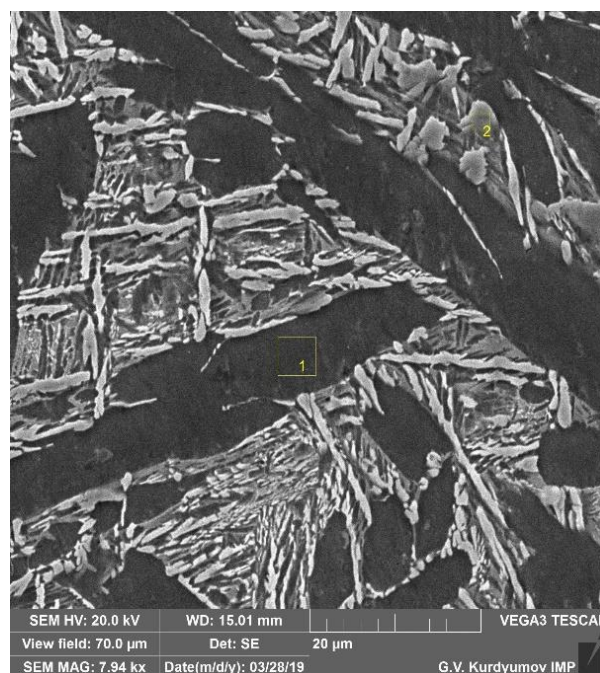
Навантаження	5Н	10Н	20Н	30Н
K_{Ic}	-	10,213	9,9	7,6

2.5 Хімічний аналіз

Хімічний аналіз з поверхні шліфу отриманих зразків був виконаний по програмі backscattered electrons з програмним забезпеченням компанії Bruker. Отримувалася інформація про хімічний склад досліджувальних областей різної локальності на основі контрасту по середньому атомному номеру, та будувалися карти хімічного розподілу в структурі різних шарів матеріалу (рис. 2.5, 2.6, 2.7).



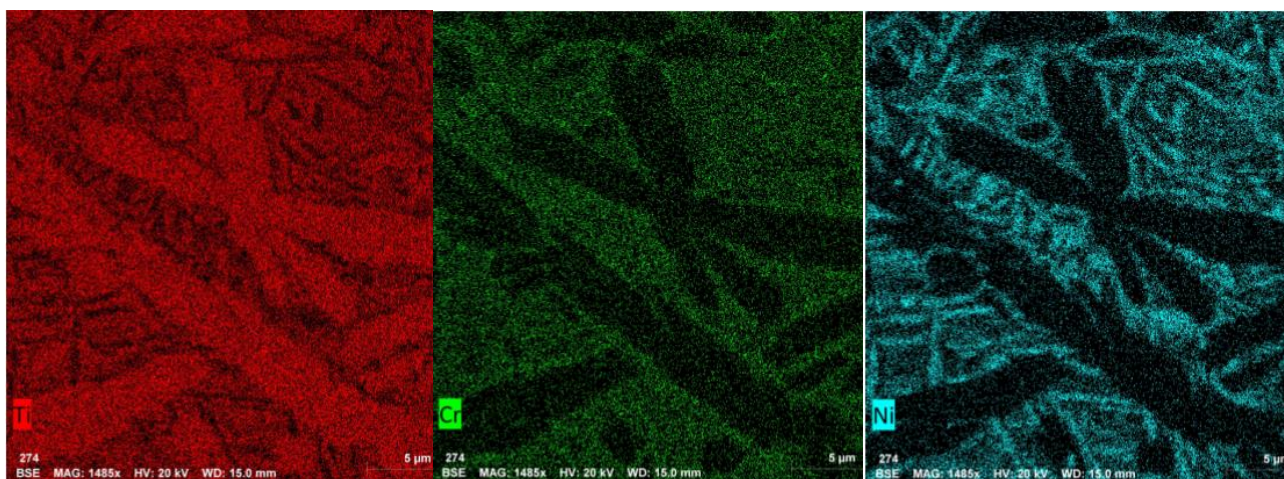
а



б

а – покриття леговане ПРН65Х25С3Р3; б – покриття леговане ПРНХ18С5Р5

Рисунок 2.7 – Ділянка мікроструктури покриття, на якій проводився хімічний аналіз



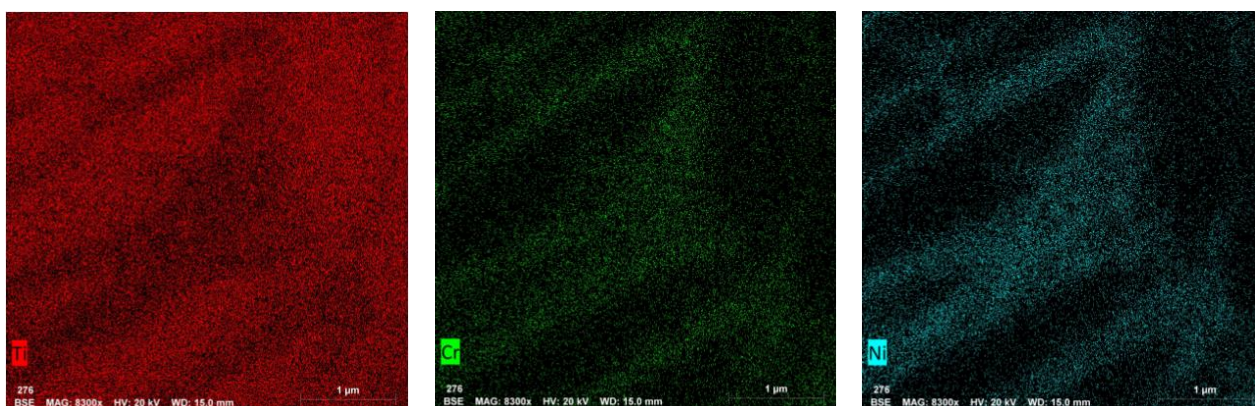
а

б

в

а – розподіл Ti; б – розподіл Cr; в – розподіл Ni

Рисунок 2.8 – розподіл хімічних елементів у VT6 легованим порошком ПРН65Х25С3Р3



а

б

в

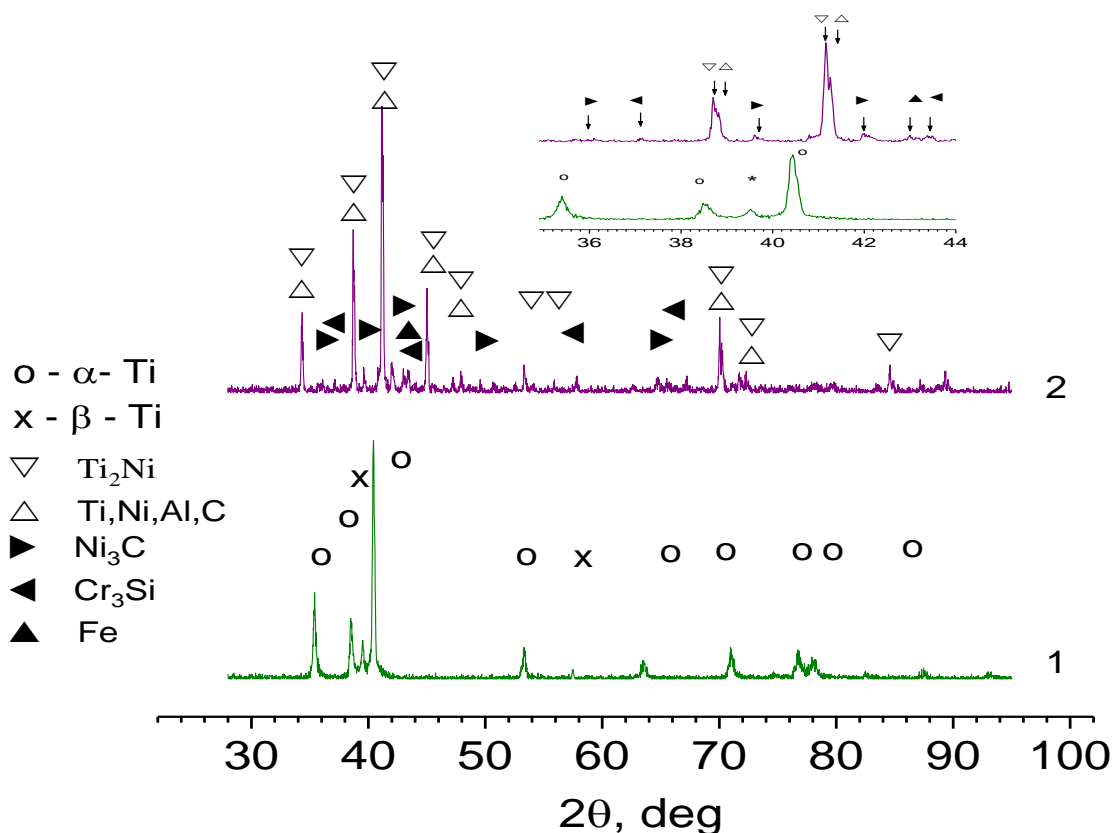
а – розподіл Ti; б – розподіл Cr; в – розподіл Ni

Рисунок 2.9 – розподіл хімічних елементів у VT6 легованим порошком ПРНХ18С5Р5

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Фазовий аналіз і структура поверхневого шару

Під час виконання даної науково-дослідницької роботи методом порошкової металургії було отримано покриття на сплаві ВТ6. Безпосередньо сплав ВТ6 та покриття готували із суміші порошків таким чином: попередньо ущільнювали суміш порошків для сплаву ВТ6, на цю суміш додавали промисловий порошок на основі нікелю і також компактували. Після спікання головною задачею було з'ясування фазового стану сплаву та покриття. Фазовий аналіз даного сплаву із покриттям проводили за рентгенограмами “ $\theta - 2\theta$ ” (рис.3.1) в діапазоні кутів $28^\circ - 95^\circ$ з двох сторін зразку: зі сторони без покриття (рис.3.1, крива 1) і зі сторони покриття (рис.3.1, крива 2). Кутові положення розподілів інтенсивності двох рентгенограм за рисунком 3.1 зведені у таблиці 3.1.



1 – рентгенограма зі сторони сплаву ВТ6, 2 – рентгенограма зі сторони покриття

Рисунок 3.1 – Рентгенограми матриці та покриття в діапазоні кутів $28^\circ < 2\theta < 95^\circ$

Таблиця 3.1 – Результати фазового аналізу за “ $\theta - 2\theta$ ” рентгенограмами зображеної на рисунку 3.1

Крива	Зона	Фаза	Просторова група	Вміст, мас. %	$a, \text{\AA}$	$b, \text{\AA}$	$c, \text{\AA}$	$V, \text{\AA}^3$
1	ВТ6	α - Ti	P63/mmc	95	2.953	2.953	4.694	35,5
		β - Ti	Im-3m	5	3.234	3.234	3.234	33,8
2	Пок- риття	Ti ₂ Ni	Fd3m	85	11.321	11.321	11.321	1479
		Ti,Ni, Al,C	Fd3m	9.8	11.395	11.395	11.395	1479
		Fe	Im-3m	1.10	2.949	2.949	2.949	25.7
		Ni ₃ C	R-3c	3.8	4.557	12.95	12,92	232,5
		Cr ₃ Si	Pm-3n	0.3	4.502	4.502	4.502	91.3

В результаті проведеного аналізу фазового сплаву з двох сторін зразку, було визначено формування основи матеріалі як сплав ВТ6 і покриття із багатофазним складом.

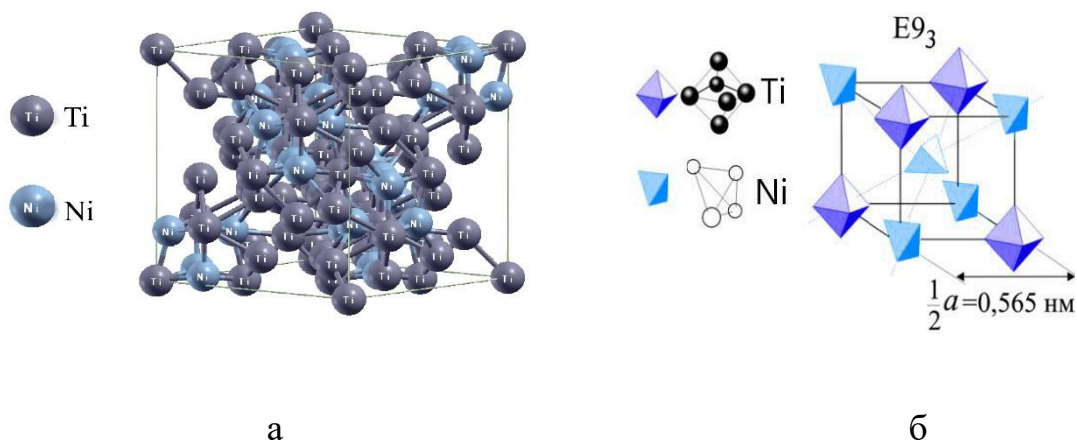
Матеріал основи ВТ6 складається з α фази титану, вміст якої становить 95%, та β фази титану, вміст якої складає 5%. Такий склад сплаву ВТ6 є типовим для відпаленого його стану.

Багатофазне покриття має основну фазу – Ti₂Ni (85 мас.%), яка кристалізується у кубічній гранецентрованій гратці з параметром 11.321 Å, в просторовій групі Fd3m. В такій же просторовій групі (Fd3m) із дуже близьким параметром (11.395 Å) у покритті знаходиться фаза (Ti,Ni,Al,C) в кількості 9.8 мас.%. Таким чином, довгоперіодичні фази групи Fd3m складають близько 95 мас.% покриття. Таке покриття є природним нано – ламінатом, аналогом MAX фаз, властивості яких визначаються різним рівнем зв'язку атомів в

площинах і між площинами. Останні 5 мас.% покриття представляють собою карбідні та силіцидні фази.

Формування фази Ti_2Ni виходить за рамки правила Юм-Розери, який визначає можливість утворення твердого розчину, якщо атомні радіуси елементів відрізняються менше ніж на 15%. Різниця атомний радіусів Ti (1.47 Å) та Ni (1.24 Å) складає 17 %, але сполука Ti_2Ni існує.

Інтерметалід Ti_2Ni кристалізується у вигляді ГЦК ґратки, яка складається з 96 атомів (рис 3.2 а). Атоми Ni створюють правильні тетраєдри, а атоми Ti утворюють правильні октаедри (рис.3.2 б).



а – кристалічна структура елементарної комірки $E9_3$ інтеметаліду Ti_2Ni ; просторової групи $Fd3m$; б – схематичне зображення 1/8 структури з зображенням тетраедричних та октаедричних комірок

Рисунок 3.2 – Кристалічна структура інтеметаліду Ti_2Ni

Виходячи з радіусів атомів, відстань відповідно правилу Вегарда, між атомами Ti повинна становити 2.94 Å, між атомами Ni – 2.87 Å, а між Ti та Ni 2.71 Å. Різниця результатів експериментальних значень міжатомних відстаней між атомами Ti – Ni в інтерметаліді Ti_2Ni , і розрахованими за атомними радіусами, які задовольняють металічній фазі, вказує на підвищену тенденцію до ковалентності між ними.

Завдяки своїй кристалічній будові і розмірам тетраедричних та октаедричних пор у ґратці інтерметаліду Ti_2Ni можлива поява атомів заміщення

та проникнення, що може впливати на кінцевий результат міжплощинних відстаней. Радіус октаедричної пори в октаедрі Ti становить 0,41 від його радіусу, та має значення 0,6 Å. В тетраедричній порі 0,22 від його радіусу, та має значення 0,31 Å. Таким чином, розміри пор відповідні з радіусами атомів H, C, O, N, B (0.53 Å, 0.77 Å, 0.6 Å, 0.92 Å, 0.98 Å відповідно), які у з'єднанні з атомами металів, як правило, зменшуються, оскільки вступають з ними у ковалентні зв'язки та створюють розчини проникнення. Крім того порошок який використовувався для утворення покриття має атоми розміром: Cr 1.3 Å, Fe – 1.26 Å, Si – 1.32 Å, які відрізняються від розміру атому Ni 4 – 6%, а розмір атома Al – 1.43 Å від розміру атома Ti на 3%, що дозволяє їм утворювати тверді розчини заміщення.

Фазовий аналіз матеріалу показав, що його основою є сплав VT6, а покриття на ~ 95мас.% складається із наноламінатних фаз.

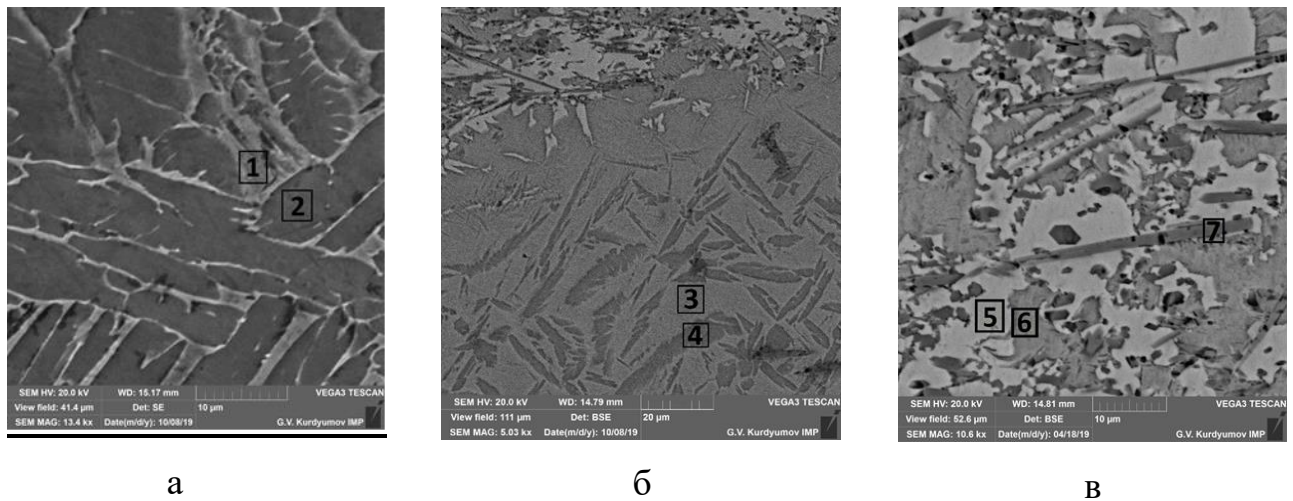
3.2 Мікроструктура матеріалу після спікання

Мікроструктуру отриманого матеріалу одержаного після спікання порошку основи VT6 та матеріалів покриття ПРН65Х25С3РЗ (рис. 3.3) досліджували на градієнтній поверхні, тобто поверхні перпендикулярній покриттю. Цю поверхню умовно можна розділити на три зони : матеріал основи (рис.3.3 а), перехідний шар (рис.3.3 б) і поверхневий шар покриття (рис.3.3 в).

У кожній зоні були визначені хімічні склади основних структурних елементів для порошку ПРН65Х25С3РЗ і представлені у таблиці 3.2.

У матеріалі основи міститься дві області: світла область (1), яка згідно з хімічним складом є β фазою, та більш темна область (2), яка належить до α фази. Мікроструктурні дослідження показали, що при спіканні у центральній частині зразка було отримано типову структуру VT6. Перехідна зона містить підвищену кількість β –фази, яка на рис.3.3б є більш світлою і позначена цифрою «3» та голчасту α фазу, яка є більш темною і позначена на рисунку 3.3 б цифрою «4». Перехідна зона насичена значною кількістю фаз, утворених з порошку легування

(ПРН65Х25С3Р3). Ці фази проникають в перехідну зону і сполучаються як з β , так і з α фазою.



а – сплав ВТ6; б – зона сплавлення покриття і сплаву ВТ6; в – структура покриття із використанням порошку ПРН65Х25С3Р3

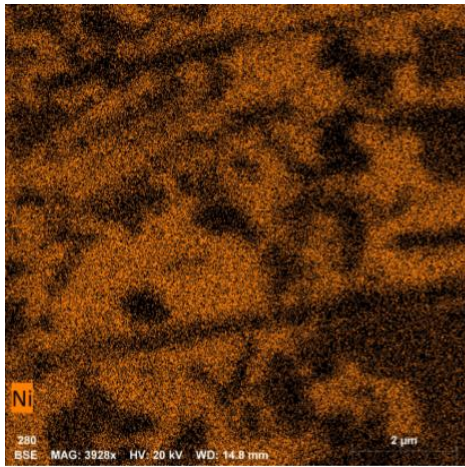
Рисунок 3.3 – Мікроструктури зразка з покриттям ПРН65Х25С3Р3

Зона покриття (рис.3.3 в) містить три основні кольорові області, які за локальним фазовим аналізом представляють собою такі фази. Світла область (5) складається з інтерметаліду Ti_2Ni і ця фаза переважно проникає в перехідну зону. Область сірого кольору (6) містить майже всі елементи як сплаву ВТ6 так і порошку покриття. Область найбільш темна, зображена на рисунку цифрою «7» має чітко виражену голчасту структуру і містить в основному Ti та Ni .

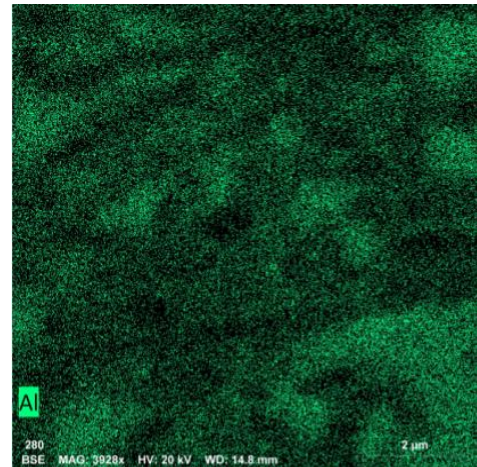
Таблиця 3.2 – Результати спектрально аналізу різних зон матеріалу (ВТ6 + ПРН65Х25С3Р3) після спікання

Зона дослідження	№	Ti	Al	V	Ni	Cr	Fe	Si	C
ВТ6	1	80.4	5.7	4.8	5.8	1.9	1.4	0	-
	2	92.2	6.9	0.3	0.2	0.4	0	0	-
Перехідна зона	3	78.9	5.6	3.4	6.8	2.9	1.8	0.6	-
	4	91.2	7.2	0.1	0.6	0.8	0	0.1	-
Поверхневий шар	5	62	2.1	-	29.3	1.4	2.3	2.2	0.7
	6	79	5.1	3.2	5.9	2.8	1.6	1.9	0.5

	7	82.7	1.7	2.1	7.6	2.6	1.3	1.8	0.2
--	---	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



а

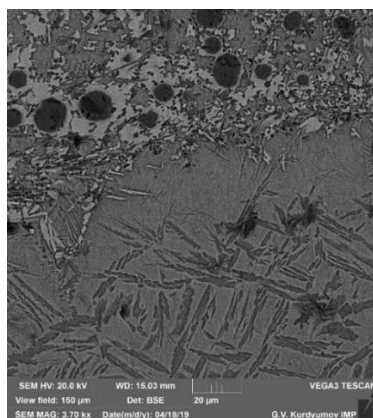


б

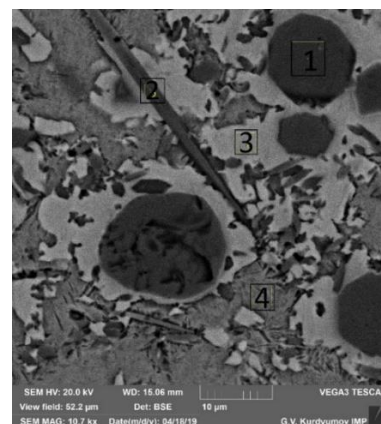
а – Розподіл Ni; б – Розподіл Al

Рисунок 3.4 – Розподіл хімічних елементів у покритті з порошку ПРН65Х25С3Р3

Дослідження фазового стану та мікроструктури покриття, отриманого із порошком ПРНХ18С5Р5 має схожі структурні елементи та хімічний склад (табл. 3.3) із покриттям з порошку ПРН65Х25С3Р3. Однак, мікроструктура (рис. 3.5) покриття отриманого покриття виготовленого з ВТ6 та ПРНХ18С5Р5 має включення у вигляді крупних областей карбіду титану.



а



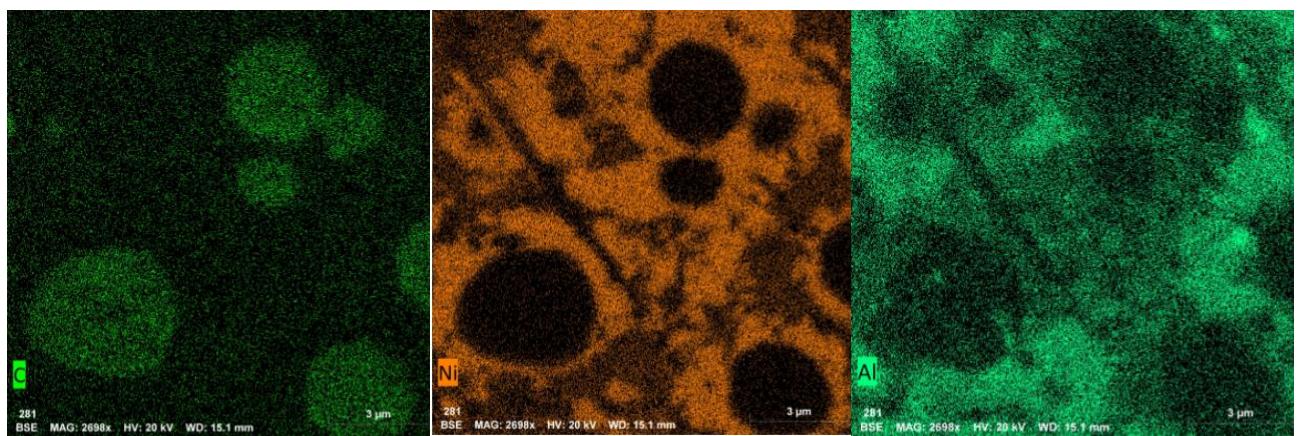
б

а – зона сплавлення покриття и сплаву ВТ6; б – мікроструктура покриття із використанням порошку ПРНХ18С5Р5

Рисунок 3.5 – Мікроструктури зразка з покриттям ПРНХ18С5Р5

Таблиця 3.3. – Результати спектрально аналізу отриманого покриття (ВТ6 + ПРНХ18С5Р5) після спікання

	№	Ti	Al	V	Ni	Cr	Fe	Si	C
Покриття	1	92,5	0,3	0	0,4	0	0	0	6,8
	2	89,8	0,5	2	5,6	0,4	0,3	0,4	1
	3	62,7	2,5	0	29	1,7	1,6	0,5	2
	4	77,5	5,8	3,4	6,3	3,7	0,9	0,5	1,9



а

б

в

а – Розподіл С; б – Розподіл Ni; в – Розподіл Al

Рисунок 3.6 – Розподіл хімічних елементів у покритті з порошку ПРНХ18С5Р5

В порошку ПРНХ18С5Р5 порівняно із порошком ПРН65Х25С3Р3 є підвищена кількість вуглецю, що позначається на фазовому стані поверхневого шару покриття. Нано- ламінатні світлі області (рис.3.5 а) із покриття із порошком ПРНХ18С5Р5 також, як і в покриття з порошком ПРН65Х25С3Р3 проникають у вигляді голок в перехідну зону між основним сплавом ВТ6 и поверхневим шаром.

3.3 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості отриманого покриття

В кожній зоні багатошарового матеріалу були проведені вимірювання мікротвердості при навантаженні 5 Н. При використанні порошку ПРН65Х25С3Р3 твердість становить: для основи матеріалу – ВТ6 становить 398,5 МПа, для перехідного шару 459,75 МПа, для покриття 647,65 МПа. При використанні порошку ПРНХ18С5Р5 мікротвердість для основи матеріалу ВТ6 становить 455,45 МПа, для перехідного шару 485 МПа, для покриття 669,9 МПа. Твердість матеріалу градієнтно збільшується від матеріалу основи до покриття (рис 3.7,3.8).

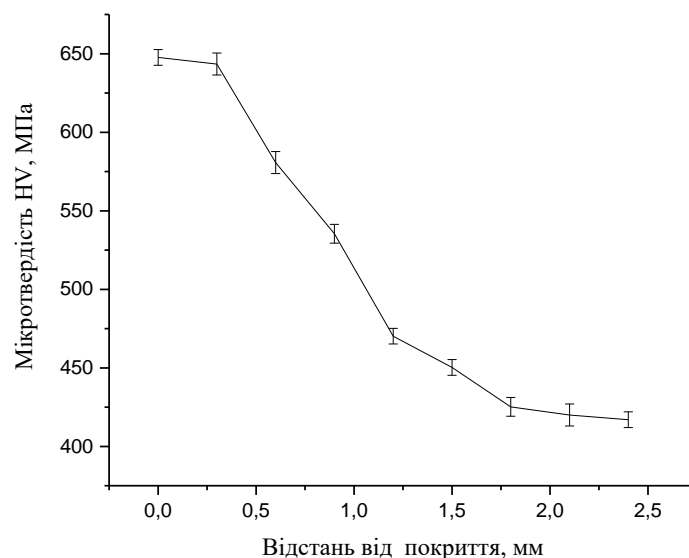


Рисунок 3.7 – Зміна мікротвердості від покриття ПРН65Х25С3Р3 до основи ВТ6

При навантаженні яке становить 20 Н (рис 3.8) в області відбитка з'являються тріщини, які поширюються, як від вершин відбитка, так і від його сторін що пов'язано з залишковими напруженнями розтягу в даній області, які виникають у багатофазному матеріалі.

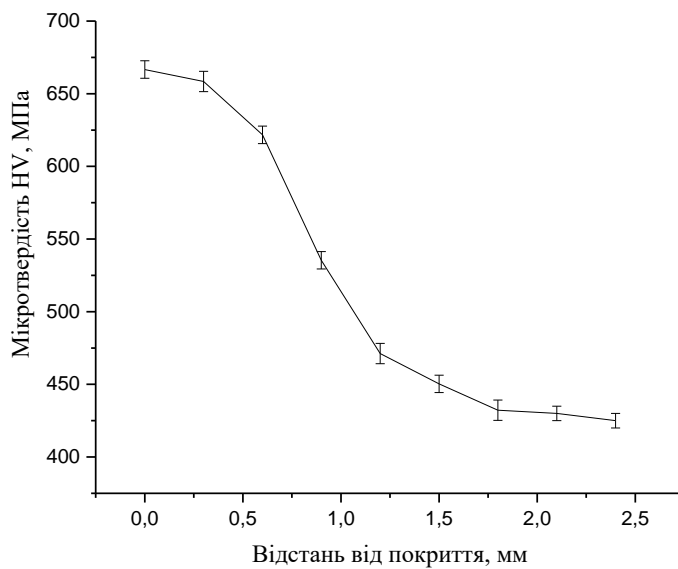


Рисунок 3.7 – Зміна мікротвердості від покриття ПРНХ18С5Р5 до основи ВТ6

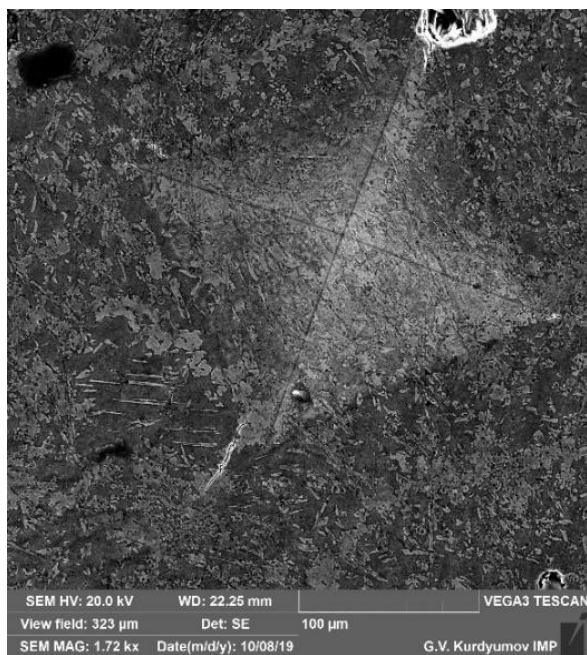


Рисунок 3.7 – Зображення відбитку індентору при навантаженні 20 Н на покритті виготовленому з порошку ПРН65Х25С3Р3

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дослідження для даної науково-дослідної роботи були проведені у «Інституті Металофізики ім. Курдюмова».

Метою даного розділу є аналіз можливих небезпечних ситуацій та чинників які можуть до них призвести, розробка засобів для їх усунення або зведення їх до мінімуму.

До найбільш небезпечних ситуацій, під час проведення дослідження можна віднести: інтенсивне теплове опромінення під час спікання, отримання опіків, ураження електричним струмом та механічні пошкодження під час роботи з пресом при формуванні зразків.

4.1 Безпечність технологічного процесу

До технологічних операцій які можуть нести в собі ризик для життя людини належать: змішування, формування, спікання.

Операція змішування проходить з використанням подрібнених порошків ПРН65Х25СЗРЗ, ПРНХ18С5Р5 та ВТ6, на протязі 12 годин. Операція проходить без безпосередньої присутності персоналу, необхідно тільки ввімкнути, та вимкнути змішувач.

Так як під час дослідження використовувалися металеві порошки то існує небезпека перевищення граничної концентрації шкідливого аерозолю у повітрі. Тому, для захисту персоналу від потрапляння шкідливих речовин у органи дихання, застосовувалися респіратори та витяжні шафи.

Під час процесу формування існує небезпека фізичних пошкоджень в результаті перевищення максимального навантаження для прес-форми в результаті якого її конструкція може не витримати. Також причиною фізичних пошкоджень може бути недотримання персоналом техніки безпеки під час проходження процесу формування.

Основними методами збільшення безпеки які дотримувалися при роботі з механічним пресом є використання захисного фартуху та перевірка прес-форми на наявність дефектів перед початком процесу пресування.

Процес сушки не потребує прямої присутності. Температури сушки досить низькі і не потребують герметизації пічного обладнання. Процес діставання заготовок проходить із використання спеціальних вогнетривких рукавиць для унеможливлення вірогідності отримання опіку.

Операція спікання проводилась у вакуумі при 1250 °C на протязі 10 годин. Швидкість нагрівання до температури спікання складала 10 °C/хв. Після спікання зразки охолоджувалися разом з піччю.

При роботі з піччю існує небезпека опіків та ураження електричним струмом.

Приступати до роботи можна виключно після того, як наладчик чи майстер перевірить його справність.

Небезпека отримання опіків при роботі з вакуумною піччю нівелюється, так як зразки дістають тільки після того як піч охолодилась до кімнатної температури

При роботі на пічному обладнанні слід проводити заходи, що застерігають від ураження електричним струмом, тобто перевіряти повну справність електропроводів; обладнання повинно мати на корпусах елементи заземлення та бути надійно заземлено.

Приміщення у якому відбувається спікання та сушка, за вибухопожежною та пожежною небезпекою відноситься до категорії Г (приміщення в яких знаходяться негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, спалимі рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо).

Для пожежної безпеки у приміщенні передбачені такі засоби: порошковий вогнегасник ВП-2, система знеструмлення при пожежі електроустаткування, автоматична пожежна сигналізація.

4.2 Безпечність обладнання використаного для дослідження

Змішування відбувалося у планетарному змішувачі Bwm-tm01 закритого типу.

Змішувач обладнаний системою автоматичного аварійного вимкнення при надзвичайних ситуаціях. Негативний шумовий ефект практично не впливає на оператора через відсутньої необхідності бути безпосередньо біля обладнання в момент подрібнення. Також, відсутні фактори втоми. В разі поломки верстат вимикається автоматично.

Можливими небезпечними ситуаціями, є ураження електричним струмом та потрапляння у частини конструкції які обертаються.

Основними засобами безпеки є використання оболонки для запобігання можливості випадкового доторкання до струмоведучих частин та частин, що рухаються і нагріваються.

Формування зразків відбувалося на напів-автоматичному пресі RP-L023 при двосторонньому пресуванні під тиском 640 МПа, у сталевій розбірній прес-формі. Матриця та пуансон виготовлені із високоякісної сталі, так як все зусилля пресу передається на них.

Подача навантаження на прес-форму відбувається під час натискання оператором кнопки. Відсуне аварійне автоматичне виключення під час надзвичайної ситуації, оператор припиняє подачу навантаження прибиранням пальця з кнопки. Робота з пресом на оператора має вплив фактор монотонної роботи, що зменшує уважність під час роботи та може призвести до травм при виготовленні зразків.

Для захисту від випадкових уламків, що можуть вилітати з великою швидкістю у напрямку до оператора використовується захисний сталевий кожух.

Напів-автоматичний прес належить до I класу електробезпеки, при роботі з таким обладнанням можливе враження електричним струмом. Основними причинами ураження персоналу електричним струмом є прямий контакт з струмоведучими частинами які опинились під напругою через пошкодження електроізоляції.

В конструкції для захисту від ураження струмом використовувалася: ізоляція струмоведучих частин, попереджувальні надписи, знаки, фарбування в сигнальні кольори та інші засоби сигналізації про небезпеку.

Для захисту від ураження струмом в аварійному режимі застосовували: заземлення, подвійну ізоляцію.

Спікання зразків проводили у вакуумних печах СШВЕ 1,25/25-И2 та СНВЛ 1.3.1/16М2 у залишковому вакуумі 10^{-3} МПа. Патрубки в печі виготовлені із прозорих матеріалів для можливості швидкої перевірки наявності потоку води. Корпус печі виготовлений із жароміцної сталі.

При роботі вакуумної печі використовується дифузійний паро-масляний вакуумний насос через високу швидкість роботи, які відносять до I класу електробезпеки.

Оператор, хоч і вільний в момент самого спікання, проте він повинен завжди бути на готові. В разі припинення потрапляння води в охолоджувальній системі та в разі розгерметизації вмикається звукова сигналізація. В разі припинення потрапляння води, слід спершу перевірити крани та патрубки. В разі неможливості швидкої поладки піч необхідно вимкнути.

Джерелом можливого ураження людини електричним струмом є нагрівач та корпус насосу. Для попередження ураження електричним струмом якраз і виконують надійне заземлення цих елементів, шляхом під'єднання мідного провідника-заземлювача діаметром 3 мм до болта затискача – заземлювача.

4.3 Висновки

Під час виконання науково-дослідницької роботи було розглянуто основні чинники які становлять вплив на працездатність та здоров'я людини.

Було проаналізовано основні небезпечні ситуації які можуть статися під час проведення досліджень до даної дисертації, до яких належить ураження електричним струмом, отримання інтенсивного теплового випромінення або отримання фізичних ушкоджень.

Проаналізовано основні заходи спрямовані на забезпечення безпеки, до яких належить: екранування печей, застосування захисного фартуху, ізоляція струмопровідних елементів, перевірка прес-форм на наявність дефектів перед початком формування та проведення регулярного інструктажу по техніці безпеки перед персоналом.

Все обладнання має певні захисні деталі чи елементи: сталевий кожух, звукова сигналізація, автоматичне вимкнення та інше. Робочі місця – ергономічні, є можливість відпочинку та є спеціальні виділення місця для нагляду за обладнанням. Частина процесів повністю автоматизована. Устаткування виконане з якісних матеріалів. Самі технологічні процеси максимально усувають контакт із небезпечними речовинами. Є наявність герметизація на відповідних ділянках.

Було зроблено висновки що все обладнання відповідає відповідним нормам та мають відповідне захисне обладнання та дозволяють провести дослідження необхідні для даної магістерської дисертації.

5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Під час виконання даної науково-дослідницької роботи за темою «Отримання зносостійкого покриття на титановому сплаві ВТ6 порошковим методом» використовувалося таке електричне обладнання як трубчаста піч для спікання металевих порошків та виробів з них.

У даному розділі проведемо розрахунок кількості електроенергії, необхідної для забезпечення роботи цеху.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності при запланованому режимі роботи :

$$\mathcal{E} = M \times \Phi_0 \times \eta_{\text{зб}} \times K_1 \times K_2,$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{\text{зб}}$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для генераторів височастотного нагріву – 0,8);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення виконують на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку:

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м ²	Поверхнева щільність теплого потoku, Вт/м ²	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Виробнича лабораторія	68	11	2500	0,8	1496
Усього витрат, кВт×год					1496

6 ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Розрахунок усіх витрат на магістерську дисертацію, пов'язаних з виконанням даної теми, дає можливість встановити планову кошторисну вартість даної теми. Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат [45].

Планова собівартість визначається за наступними статтями витрат:

- заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість спеціального обладнання для виконання МД;
- вартість матеріалів, необхідних для проведення МД;
- витрати на службові відрядження;
- інші прямі невраховані витрати по темі;
- накладні витрати.

6.1.1 Витрати на оплату праці

Витрати за цією статтею включають заробітну плату працівників усіх категорій, зайнятих виконанням робіт з даної теми.

Заробітна плата розраховується на основі даних про трудомісткість окремих робіт і посадових окладів виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людино-днях.

При виконанні даної магістерської роботи буде задіяно такі трудові ресурси: відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, який приймає участь в усіх етапах дослідження та здійснює безпосередній контроль, інженер дослідник відповідальний за проведення експериментів, обробку та аналіз результатів, молодший науковий співробітник та лаборант приймають участь в дослідженні, до їх обов'язків входить забезпечення технічної бази дослідження, налаштування та допомога в експлуатації обладнання, попередній

аналіз результатів, консультації. Перелік робіт та їх трудомісткість зведено в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок трудомісткості виконання магістерської дисертації

Етапи ДР	Трудомісткість людино-днів			
	Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник	Молодший науковий співробітник	Інженер-дослідник	Лабо-рант
Підготовчий етап	5	3	4	-
Проведення експерименту	20	12	30	30
Написання записки	5	-	4	-
Оформлення, перевірка та захист	4	-	4	-
Разом	34	15	42	30

Денні зарплати визначаються як відношення місячного окладу до умовного місяця (для магістерської дисертації з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців.

Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми для кожного виконавця зведено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунок фонду заробітної плати виконавців теми

Посада	Трудовістість людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
Відповідальний виконавець теми, старший науковий співробітник	34	11 627	548,4	18645,6
Інженер- дослідник	42	6000	283	11886
Лаборант	30	4173	196,8	5904
Технік	15	4873	229,9	3448,5
Разом				39884,1

6.1.2 Єдиний соціальний внесок

Сума єдиного соціального (B_C) визначаються у відсотках у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22% загального фонду заробітної плати.

Таким чином, єдиний соціальний внесок складе:

$$B_C = 39884,1 * 0,22 = 8774,5 \text{ грн.}$$

6.2 Витрати на матеріали, що використовуються в роботі

Витрати на матеріали, які необхідні для проведення даної магістерської, вираховуються з ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Вартість матеріалів, необхідних для виконання ДР

Найменування матеріалів	Стандарт	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Порошок Ті	ТУ 14-22-57-92	кг	0,1	500	50
Порошок ПРНХ	-	кг	0,1	400	65
Разом					115

Транспортно-заготівельні витрати складають 10% від планової вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати по цій статті становлять:

$$Вм(заг) = 265 * 1,1 = 126,5 \text{ грн.}$$

6.3 Витрати на спеціальне обладнання та прилади

В роботі використовуються вже існуюче обладнання: лабораторні терези, гідравлічний прес RP-L023, відновлювальна піч Siemens, Спеціальне устаткування для виконання ДР не закуповувалось.

6.4 Витрати на службові відрядження

Всі роботи проводились у «Інституті Металофізики ім. Курдюмова» тому витрати на виробничо-наукові відрядження не передбачені.

6.5 Інші прямі невраховані витрати

Ця стаття поєднує в собі всі витрати на проведення магістерської дисертації, що не увійшли до попередніх статей (оплата спеціалістів з інших організацій, оплата консультацій, використання обладнання інших організацій та інше). При проведенні даної роботи інші прямі невраховані витрати складають 10% від суми врахованих витрат на МД.

$$I_B = (39884,1 + 8774,5 + 126,5) * 0,1 = 4878,51 \text{ грн.}$$

6.6 Накладні витрати

До накладних витрат (H_B) відносять:

- а) заробітна плата адміністративна – управлінського, господарського та обслуговуючого персоналу з єдиним соціальним внеском;
- б) витрати на придбання експериментального спеціального обладнання та приладів;
- в) витрати по охороні праці та на техніку безпеки;
- г) утримання та експлуатація виробничих площ, приладів, устаткування та установок;
- д) витрати на воєнізовану охорону;
- ж) інші загальногосподарські та дослідницькі витрати.

За нормативами для НТУУ «КПІ» величина накладних витрат складає 20% від суми всіх прямих витрат по темі.

$$H_B = (39884,1 + 8774,5 + 126,5 + 4878,51) * 0,20 = 10732,7 \text{ грн.}$$

6.7 Планова кошторисна вартість магістерської дисертації

Зроблені розрахунки дозволяють визначити загальну планову кошторисну вартість виконання ДР. Плановий кошторис витрат по темі досліджень наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Планова кошторисна вартість ДР по темі

Назва статей	Умовне позначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців теми	ЗП	39884,1	61,9	За розрахунками
Єдиний соціальний внесок	Вс	8774,5	13,63	22% від ЗП
Вартість основних матеріалів	Вм	126,5	0,19	За розрахунками
Вартість спец. обладнання	Воб	-	-	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	Всо	-	-	Не планується
Інші прямі невраховані витрати	Ів	4878,51	7,57	10% від суми врахованих прямих витрат
Накладні витрати	Нв	10732,7	16,67	20% від усіх прямих витрат по темі
Разом	Вдр	64396,32	100	Сума всіх попередніх статей

7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

7.1 Науково-технічна актуальність ДР

Титан має ряд дуже гарних властивостей таких як міцність, легкість, корозійна стійкість, фізіологічна інертність – це дозволяє йому використовуватися у багатьох галузях промисловості від виробництва реакторів до зубних імплантів.

Але при цьому має ряд недоліків які звужують коло його використання зокрема це низька зносостійкість, термічна нестабільність, висока схильність до налипання та високий коефіцієнт тертя з більшістю матеріалів.

Для усунення більшості з цих недоліків у останній час широко використовують покриття які приводять до структурно фазових переходів у поверхневих шарах матеріалу.

Одним з напрямків розвитку науки сьогодні є розширення області застосування титану та його сплавів шляхом розробки нових економічних технологій, що забезпечать значне зниження вартості як самого металу так і сплавів на його основі. В останній час розвиток отримали методи створення ієрархічних слоїстих структур, які складаються з нано-розмірних зерен. Таку структуру можна отримати за допомогою легування поверхні нітридами.

Під час виконання даної магістерської дисертації було отримано нано-структурований матеріал за допомогою легування титанового сплаву ВТ6 порошком на основі нікелю. Що дозволить значно збільшити його механічні властивості зокрема зносостійкість.

Результати даної магістерської роботи сприяють розвитку нового напрямку у нанесенні покриттів. Так як нано-структурні покриття мають гарні механічні властивості та дуже гарну адгезію покриття.

7.2 Мета і завдання дипломної роботи

Метою даної роботи є отримання зносостійкого матеріалу на титановому сплаві ВТ6

Для вирішення поставленої задачі необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз публікацій з теми і обґрунтувати напрями досліджень;
- розробити методику проведення дослідження;
- провести змішування ВТб з лігатурою;
- провести спікання компактних заготовок;
- виготовити шліфи для мікроскопічних досліджень;
- дослідити мікроструктуру отриманих зразків;
- дослідити мікротвердість;
- провести рентгеноструктурний аналіз;
- обробити отримані дані та узагальнити результати.

7.3 Економічна ефективність ДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту магістерської дисертації необхідний для визначення доцільності проведення даної роботи. Однак, економічний ефект може бути розрахований тільки по магістерським роботам, які безпосередньо націлені на створення нових матеріалів, покращення параметрів та якості продукції, а також створення нових конструкцій тощо.

За основний показник ефективності фундаментальних досліджень беруть науково-технічний ефект. Науково-технічний ефект $E_{нт}$ пошукових та прикладних досліджень кількісно визначають узагальненим показником, який враховує рівень часткових показників: новизну, перспективність та ступінь реалізованості наслідків дипломної роботи.

Узагальнений показник можна визначити за допомогою оцінок, виражених у балах:

$$E_{HM} = \sum_{i=1}^3 R_i * Q_i,$$

де R_j - коефіцієнт вагомості новизни (0.4), перспективності (0.2) та реалізованості наслідків НР (0.4);

Q - новизна, перспективність та реалізованість, балів.

Оцінка науково технічного ефекту наведена у таблиці 7.1

Таблиця 7.1 – Оцінка науково-технічного ефекту ДР

Показник ДР	Характеристика результатів	Бали
Новизна	Техніко-економічні показники нової технології на галузевому рівні.	8
Перспективність	Технологія може бути впроваджена у порошковій металургії.	9
Реалізованість	Термін впровадження нової технології - до трьох років	8

Узагальнений показник:

$$E_{HT} = 8 * 0,4 + 9 * 0,2 + 8 * 0,4 = 8,2 \text{ балів.}$$

Розрахований показник свідчить про доцільність виконання магістерської дисертації по даній темі.

7.4 Висновки

Обґрунтована науково-технічна актуальність виконання досліджень по даній темі. Розраховано планово-кошторисну собівартість проведення ДР з урахуванням витрат всіх видів ресурсів.

Розраховано показник умовної економічної ефективності проведення роботи.

8 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

8.1 Актуальність

Титан володіє низкою дуже гарних властивостей які дозволяють йому знайти застосування у багатьох галузях таких як: літакобудування, медицина, суднобудування. Але важливим недоліком є ціна виробництва яка значно перевищує ціну на леговані сталі. Для розширення галузі використання необхідно розвивати та впроваджувати нові технології виготовлення та зміцнення титанових сплавів.

Тому дуже важливою задачею є зменшення ціни виготовлення титану та титанових сплавів, та збільшити час їх експлуатації. Для збільшення часу експлуатації титанових деталей використовується метод нанесення покриттів, що дозволяє значно зменшити вплив фактору ціни.

Використання наноструктурних покриттів застосовуючи порошки на основі нікелю та отримання фази Ti_2Ni , дозволяє отримати бажані властивості не збільшуючи ціну виробництва. Дані якості дозволять отримати значну перевагу перед конкурентами на ринку.

8.2 Мета і завдання стартап проекту

Метою даного розділу є розвиток креативного мислення, підприємницького духу та формування здатності оцінювання ринкових перспектив щодо основних науково-дослідницьких розробок, наведених у попередніх розділах магістерської дисертації у вигляді стартап проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

8.3 Опис ідеї проекту

В межах підпункту слід послідовно проаналізувати певні ідеї:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Головний опис ідеї стартап проекту по отриманню зносостійких покриттів занесений у таблицю 8.1

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Отримання зносостійких покриттів на поверхні титанового сплаву ВТ6	1) Використання в вузлах тертя 2) Суднобудування 3) Літакобудування 4) Військова сфера	1) Збільшення часу експлуатації 2) Простота виробництва

8.3.1 Технологічний аудит ідеї проекту

У межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (табл.8.2)

Таблиця 8.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Отримання зносостійкого покриття на сплаві ВТ6	Порошкова металургія	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що розробка та реалізація даної технології не створює жодних перешкод, оскільки вона існує на ринку та доступна для реалізації.

8.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Сегмент споживачів: для аналізу попиту на ринку дослідження звузимо до рівня м. Києва.

Ринок споживачів – нішевий (вузький профіль – літакобудувальні підприємства та підприємства які виготовляють військову техніку).

Канали збуту: використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин).

Взаємодія зі споживачами: особисті контакти, по телефону, електронній пошті. Застосування програм лояльності. Із потенційними споживачами – підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

Для визначення актуальності вкладення грошових та матеріальних ресурсів на впровадження даної технології варто зрівняти діючу облікову ставку НБУ та середню норму рентабельності ринку (14 %). З 25.10.2019 р НБУ прийняло рішення про зниження облікової ставки до 15,5 %. Таким чином, рентабельність ринку є вищою, що свідчить про те, що даний проект є привабливим для інвестування.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 8.3).

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 8.4,8.5). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера) [45].

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції.

Це:

- конкурент, що вже є у галузі;
- потенційні конкуренти;
- наявність товарів-замінників;
- постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- споживачі.

Таблиця 8.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Застосування матеріалів з гарними механічними характеристиками та малою вагою.	Виробництва, заводи	- Швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; - Гарантія якості; - Надійність, висока зносостійкість	-якість; -надання чітких гарантій; -швидкість виконання

Таблиця 8.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту.	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бренда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань.
3	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	- втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; - скорочення обсягів виробництва в результаті використання застарілого обладнання.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, а також сильних і слабких сторін приведено в таблицях 8.6 та 8.7.

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод отримання молибдену дає можливість при мінімальних затратах

підприємства виготовляти та випускати високо якісну та дешеву для клієнта продукцію.

Таблиця 8.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а, відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.

Таблиця 8.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Слабкі та сильні сторони)

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
<ul style="list-style-type: none"> – молодий і кваліфікований колектив; – порівняно недорогі початкові матеріали; – дуже широкий асортимент послуг, включаючи суміжні галузі; 	<ul style="list-style-type: none"> – брак власного устаткування; – додаткові транспортні витрати;

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на

ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 8.7 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Можливості та загрози)

Можливості (О):	Загрози (Т):
<ul style="list-style-type: none"> – посилення позиції на ринку; – вихід на нові сегменти ринку; – збільшення різноманітності – підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу. 	<ul style="list-style-type: none"> – зростаюче конкурентний тиск; – поява нових конкурентів з товарами-замінниками;

8.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва; по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Наступним кроком є вибір базової стратегії конкурентної поведінки, результати якої зведено в таблицю 8.8.

Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- проникнення на ринок;
- розвиток ринку;
- розробка товару;
- диверсифікація.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства

Таблиця 8.8 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Даний проект не є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, та забирати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію спеціалізації. Це є доцільним, оскільки підприємство може завоювати клієнтів як за допомогою меншої вартості наданих послуг, так і за допомогою диференціації.

8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.9 підсумували результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 8.9 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Виготовлення зносостійких матеріалів для літако-космічної галузі	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість, висока надійність	Новий метод який дозволить швидко отримувати вироби з покриттями які об'єднують у собі гарні механічні властивості

Методика, яку планується використовувати, є унікальною. Тому задля забезпечення її від копіювання конкурентами, можна запатентувати методику.

8.7 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Ось чому розробку збутової політики кладуть в основу програми аналізу як щодо кожного продукту, так і по виробничому відділенню

загалом. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й ввести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах.

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами.

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення поверхні корпусів.

8.8 Висновки до розділу

Розробка даного стартап проекту є досить перспективною, на даний момент сучасна промисловість потребує матеріалу з гарними механічними властивостями наряду з низькою вагою та високим значенням зносостійкості.

Створення наноструктурного покриття за рахунок утворення фази Ti_2Ni , яке завдяки своїй структурі та гарним значенням адгезії значно збільшує механічні властивості.

Сукупність цих властивостей надає значні переваги на ринку, та відкриває перед собою значний потенціал для розвитку.

ВИСНОВКИ

1. Методом порошкової металургії, який передбачає пресування порошків, підготовлених відповідно до фазового стану матеріалу із покриттям, та спіканням за одну операцію було отримано титановий сплав ВТ6 із покриттям з порошків ПРН65Х25С3Р3 та ПРНХ18С5Р5.
2. В титановому сплаві ВТ6 із покриттям була отримана градієнтна мікроструктура із центральною зоною, що відповідає фазовому та структурному станам відпаленого сплаву ВТ6, перехідна зона із підвищеним об'ємом β - фази та насиченням природними нано-ламінатними фазами (Ti_2Ni та Ti,Ni,Al,C), яка плавно за концентрацією фаз переходить в поверхневу зону, що вже складається на 95мас.% із довгоперіодичних фаз.
3. Застосований метод дозволив утворити надійну адгезію центральної частини матеріалу – сплаву ВТ6 і поверхневого шару покриття із природними нано-ламінатними фазами.
4. При застосованих методів спікання відбувається дифузія елементів порошків покриття вглиб основного матеріалу на відстань понад 10 мм.
5. Найвище значення міцності поверхневого шару 558 МПа забезпечує застосування порошку ПРН65Х25С3Р3 проти 414 МПа при застосуванні порошку ПРНХ18С5Р5.
6. Природа та властивості фаз отриманого поверхневого шару та їх адгезія об'ємом сплаву дозволяють вважати отримане покриття перспективним методом підвищення зносостійкості титанових сплавів.

CONCLUSIONS

1. Powder metallurgy, which involves the pressing of powders prepared in accordance with the phase state of the coated material and sintering in one operation, was obtained titanium alloy Ti6Al4V coated nickel based powders. When applying powder metallurgy methods, not only reliable adhesion but also a smooth transition are formed.
2. In the Ti6Al4V titanium alloy with a coating, a gradient microstructure was obtained with a central zone corresponding to the phase and structural states of the annealed Ti6Al4V alloy, a transition zone with an increased volume β phase and saturation with natural nanolaminate phases (Ti_2Ni and Ti, Ni, Al, C), which gradually passes into the surface zone at a concentration of phases, which already consists of 95 wt.% from long-period phases.
3. The applied method allowed to form a reliable adhesion of the central part of the material the Ti6Al4V alloy and the surface layer of the coating with natural nano-laminate phases.
4. When sintering methods are used, the powder of the coating powder is diffused deep into the base material over a distance of more than 10 mm.
5. The highest value of the strength of the surface layer 558 MPa and 414 MPa.
6. The nature and properties of the phases of the obtained surface layer and their adhesion with the volume of the alloy make it possible to consider the obtained coating as a promising method of improving the durability of titanium alloys.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Powder metallurgy of titanium – past, present, and future / Zhigang Zak Fang, James D. Paramore, Pei Sun [et al.] // International Materials Reviews. – 2017. – Vol. 1. – P. 407 – 459.
2. Gerd Lütjering. Titanium / James C. Williams, Gerd Lütjering. – Hamburg : Springer, 2007. – 449 p.
3. Zarkades A. The Science, Technology and Application of Titanium / A. Zarkades, Larson F. – Oxford : Pergamon Press, 1970. – 933 p.
4. Conrad H. Titanium Science and Technology / H. Conrad, M. Doner, B. Meester. – New York : Plenum Press, 1973. – 969 p.
5. Partridge P. G. The crystallography and deformation modes of hexagonal close-packed metals / P. G. Partridge // Met. Review. – Vol.12. – 1967. – P. 169.
6. Yoo H. Slip, twinning, and fracture in hexagonal close-packed metals / H. Yoo // Metallurgical Transactions A. – 1981. – Vol. 12. – P. 409 – 418.
7. Paton N. E. Titanium Science and Technology / N. E. Paton, J. C. Williams, G. P. Rauscher. – New York : Plenum Press, 1973. – 1049 p.
8. Paton N. E. Plastic deformation of titanium at elevated temperatures / N. E. Paton, W. A. Backofen // Metallurgical and Materials Transactions B. – 1970. – Vol. 1. – P. 2839 – 2847.
9. Baker H. Alloy Phase Diagrams / H. Baker. – Ohio : Materials Park, 1992. – 522 p.
10. Кристаллогеометрические и кристаллохимические закономерности образования бинарных и тройных соединений на основе титана и никеля. / А. А. Клопотов, А. И. Потекаев, Э. В. Козлов [и др.]. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 312 с.
11. Лякишева Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
12. Joubert J. M. Crystal chemistry and Calphad modeling of the σ -phase / J. M. Joubert // Progress in Material Science. – 2008. – Vol. 53. – P. 528 – 583.

13. Клопотов А. А. Размерная кристаллогеометрия интерметаллидов бинарных сплавов / А. А. Клопотов, Э. В. Козлов // Известия вузов. Физика. – 2006. – №1. – С. 34 – 35.
14. Finkel P. Low temperature dependencies of the elastic properties of Ti_4AlN_3 and $Ti_3Al_{1.1}C_{1.8}$ and Ti_3SiC_2 / P. Finkel, M. W. Barsoum, T. El-Raghy // Journal of Applied Physics. – 2000. – Vol. 87. – P. 1701 – 1703.
15. Calculated elastic properties of M_2AlC ($M = Ti, V, Cr, Nb$ and Ta) / Z. M. Sun, S. Li, R. Ahuja, J. M. Schneider // Solid State Commun. – 2004. – Vol. 129. – P. 589 – 592.
16. Barsoum M. W. Oxidation of Ti_nAlX_n where $n = 1-3$ and X is C, N . / M. W. Barsoum // Journal of the Electrochemical Society. – 2001. – Vol. 6. – P. 544 – 550.
17. Du Y. Experimental investigation and thermodynamic calculation of the titanium–silicon–carbon system / Y. Du, J. Schuster, H. Seifert // Journal of American Ceramic Society. – Vol. 83. – P. 197 – 203.
18. Соловар О. М. Зносостійкі покриття на основі азоту і вуглецю / О. М. Соловар, М. М. Бобіна, Р. Романішин // Матеріали для роботи в надзвичайних умовах. – № 6. – С. 156 – 159.
19. Лоскутова Т. В. Захисні покриття за участю хрому та алюмінію на титанових сплавах / Т. В. Лоскутова, І. Я. Смокович, В. Г. Хижняк // Проблеми тертя та зношування. – 2012. – № 58. – С. 152 – 160.
20. Barsoum M. W. Physical Properties of the MAX Phases / M. W. Barsoum // Encyclopedia of Materials: Science and Technology. – Oxford : Pergamon Press, 2006. – 1 – 11 p.
21. Wang X. H. Microstructure and properties of Ti_3AlC_2 prepared by the solid liquid reaction synthesis and simultaneous in-situ hot pressing process / X. H. Wang, Y. C. Zhou // Acta Materialia. – 2002. – Vol. 50. – P. 3141 – 3149.
22. X-ray high-pressure study of Ti_2AlN and Ti_2AlC / B. Manoun, S. K. Saxena, M. W. Barsoum, T. El-Raghy // J. Phys. Chem. Solids. – 2006. – Vol. 67. – P. 2091 – 2094.

23. Fatigue-crack growth and fracture properties of coarse and fine-grained Ti_3SiC_2 / C. J. Gilbert, D. R. Bloyer, M. W. Barsoum, [et al.] // *Scripta Materialia*. – 2000. – Vol. 238. – P. 761 – 767.
24. Barsoum M. W. Elastic and Mechanical Properties of the MAX Phases / M. W. Barsoum, M. Radovic // *Annual Review of Materials Research*. – 2011. – Vol. 41. – P. 195 – 227.
25. Sun Z. M. Microstructure and mechanical properties of porous Ti_3SiC_2 / Z. M. Sun, A. Murugaiah, T. Zhen // *Acta Mater.* – 2005. – Vol. 53. – P. 4359 – 4366.
26. Barsoum M. W. Layered machinable ceramics for high temperature applications / M. W. Barsoum, D. Brodtkin, T. El-Raghy // *Scr. Metall. Mater.* – 1997. – Vol. 36. – P. 535 – 541.
27. Dislocations, kink bands and room temperature plasticity of Ti_3SiC_2 / M. W. Barsoum, L. Farber, T. El-Raghy, I. Levin // *Metall. Mater. Trans.* – 1999. – Vol. 30. – P. 1727 – 1738.
28. Duval P. Rate-controlling processes in the creep of polycrystalline ice / P. Duval, M. F. Ashby, I. Andermant // *J. Phys. Chem.* – 1983. – Vol. 87. – P. 4066 – 4074.
29. Barsoum M. W. Room temperature ductile carbides / M. W. Barsoum, T. El-Raghy // *Metall. Mater. Trans.* – 1999. – Vol. 30. – P. 363 – 369.
30. Barsoum M. W. Processing and characterization of Ti_2AlC , Ti_2AlCN and $\text{Ti}_2\text{AlC}_{0.5}\text{N}_{0.5}$. / M. W. Barsoum, M. Ali, T. El-Raghy // *Metall. Mater. Trans.* – 2000. – Vol. 31. – P. 1857 – 1865.
31. Tzenov N. Synthesis and characterization of $\text{Ti}_3\text{AlC}_{1.8}$ / N. Tzenov, M. W. Barsoum // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2000. – Vol. 83. – P. 825 – 832.
32. Foulds J. R. Fracture Toughness by Small Punch Testing / J. R. Foulds, P. J. Woytowicz // *J. Test. Eval.* – 1995. – Vol. 32. – P. 3 – 10.
33. Foulds J. Small Punch Testing for Determining the Material Toughness of Low Alloy Steel Components in Service / J. Foulds, R. Viswanathan // *J. Eng. Mater. Technol.* – 1994. – Vol. 17. – P. 457 – 464.

34. Proceedings of the International Conference on Martensitic Transformations / E. Aeby-Gautiera, A. Settefratia, F. Bruneseaux [et al.] // J. Alloys Compd. – 2013. – Vol.14. – P. 439 – 443.
35. Banerjee D. F. On the characteristics of titanium alloys for the aircraft applications / D. Banerjee, J. C. Williams // Acta Mater. – 2013. – Vol. 61. – P. 44 – 87.
36. The roles of Hf element in optimizing strength, ductility and electrical conductivity of copper alloys / D. F. Guo, M. Li, Y. D. Shi [et al.] // Mater. Des. – 2012. – Vol. 34. – P. 275 – 278.
37. Materials development and potential applications of transparent ceramics / M. Li, D. F. Guo, T. Y. Ma [et al.] // Mater. Sci. Eng. – 2014. – Vol. 606. – P. 330 – 333.
38. A hierarchical nanolamella-structured alloy with excellent combinations of tensile properties / M. Li, D. F. Guo, T. Y. Ma [et al.] // Mater. Sci. Eng. – 2014. – Vol. 606. – P. 396 – 400.
39. Hasnaoui A. Dimples on Nanocrystalline Fracture Surfaces As Evidence for Shear Plane Formation / A. Hasnaoui, H. Van Swygenhoven, P. M. Derlet // Science. – 2003. – Vol. 300. – P. 1550 – 1552.
40. One-dimensional TiO₂ Nanostructured Materials for Environmental and Energy Applications / D. F. Guo, M. Li, Y. D. Shi [et al.] // Mater. Lett. – 2012. – Vol. 66. – P. 305 – 307.
41. Mechanical Properties of Pure Titanium Processed by Cryogenic Rolling and Annealing / D. K. Yang, P. D. Hodgson, C. E. Wen [et al.] // Scr. Mater. – 2010. – Vol. 63. – P. 941 – 944.
42. Choi J. B. Effects of Si content and free Si on oxidation behavior of Ti-Si-N coating layers / J. B. Choi, K. Cho, M. H. Lee // Thin Solid Films. – 2004. – Vol. 447. – P. 365 – 370.
43. Perry A. J. Low-temperature deposition of titanium nitride/ A. J. Perry, J. R. Treglio, A. F. Tian // Surface and Coatings Technology. – 1995. – Vol. 76. – P. 815 – 820.

44. Безпечність машин. Елементи безпечності систем керування. Загальні принципи проектування: ДСТУ EN 954-1:2003 [Чинний від 2011-06-14]. – К. : Держстандарт України, 2003. – 28 с.

45 Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю. Н. Степанова, И. И. Шанин, Ю. В. Дуракова // Успехи современного естествознания. Экономические науки. – 2015. – №1. – С. 95 – 97.